

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů

Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Student:

Marián Meca

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Marián Meca**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů
Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

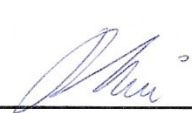
- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě18. 5. 2015.....

.....Meca Marián.....

podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě18.5.2015.....

Meca Marián

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Marián Meca

Adresa trvalého pobytu autora práce: Pekařská 3125, 738 01 Frýdek-Místek

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MECA, M. *Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2015, 49 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Tahle bakalářská práce se zabývá sledováním opotřebení inteligentních řezných nástrojů při operaci soustružení. Inteligentním řezným nástrojem je vyměnitelná břitová destička z řezné keramiky na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4) s nanesenou odporovou vrstvou. V první části této práce je teoretický rozbor experimentu, který se týká problematiky opotřebení řezného nástroje. V následující kapitole je popsána řezná keramika. V další části je zpracován teoretický rozbor soustavy obrábění při experimentu, a hlavní část této práce se zabývá zpracováním naměřených hodnot a jejich grafickým vyhodnocením. V závěru jsou shrnuty veškeré poznatky získané z experimentu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MECA, M. *Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2015, 49 p. Thesis head: Kratochvíl, J.

This thesis deals with monitoring wears of intelligent cutting tools in turning operation. Intelligent cutting a tool is replaceable cutting insert of cutting ceramics based on silicon nitride (Si_3N_4) with deposited resistive layer. In the first part of this thesis is a theoretical analysis of the experiment, which relates to the issue of cutting tool wear. The following chapter describes cutting ceramics. In next part is processed theoretic analysis system of turning during experiment. And the main part of this work deals with the processing of the measured values and their graphical evaluation. The conclusion summarizes all lessons learned from the experiment.

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek	- 8 -
1. Úvod	- 10 -
2. Teoretický rozbor problematiky	- 11 -
2.1. Opotřebení řezného nástroje	- 11 -
2.1.1. Nejdůležitější faktory ovlivňující opotřebení	- 11 -
2.1.2. Hlavní mechanismy opotřebení břitů nástroje	- 12 -
2.1.3. Klasifikace typů opotřebení břitů nástroje	- 13 -
2.1.4. Kritéria opotřebení	- 16 -
2.1.5. Metody měření opotřebení	- 18 -
2.2. Řezná keramika	- 19 -
2.2.1. Vlastnosti řezných keramik	- 19 -
2.2.2. Rozdělení a značení řezné keramiky	- 19 -
2.2.3. Zjednodušený obecný postup výroby	- 20 -
2.2.4. Využití a uplatnění v oblasti soustružení	- 20 -
3. Analýza soustavy obrábění při experimentu	- 21 -
3.1. Použitý stroj	- 21 -
3.2. Řezný nástroj	- 22 -
3.3. Držák řezného nástroje	- 22 -
3.4. Obráběný materiál	- 23 -
3.5. Procesní kapalina	- 23 -
3.6. Záznamové zařízení pro měření hodnot	- 24 -
3.7. Kalibrace záznamového zařízení	- 24 -
3.8. Drsnoměr	- 25 -
3.9. Postup prováděného experimentu	- 26 -
4. Zpracování naměřených hodnot	- 27 -
4.1. VBD A břit č. 1	- 27 -
4.2. VBD A břit č. 2	- 27 -
4.3. VBD B břit č. 1	- 29 -
4.4. VBD B břit č. 2	- 30 -
4.5. VBD B břit č. 3	- 32 -
4.6. VBD B břit č. 7	- 34 -
5. Vyhodnocení experimentu	- 36 -

6. Závěr	- 43 -
7. Seznam použité literatury	- 45 -
8. Seznam příloh.....	- 46 -

Seznam použitých symbolů a značek

Al_2O_3	[-]	oxid hlinitý
CNC	[-]	počítačově číslicové řízení
CoO	[-]	oxid kobaltnatý
CVD	[-]	chemická metoda povlakování
KB	[mm]	šířka žlábků opotřebení čela
KB_{opt}	[mm]	optimální opotřebení šířky žlábků čela
KF	[mm]	vzdálenost žlábků od čela
KM	[mm]	poloha středu žlábků opotřebení čela
KT	[mm]	hloubka žlábků opotřebení čela
PVD	[-]	fyzikální metoda povlakování
R_a	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_z	[μm]	největší výška profilu
SiC	[-]	karbid křemíku
Si_3N_4	[-]	nitrid křemičitý
T	[min]	trvanlivost
TiC	[-]	karbid titanu
TiN	[-]	nitrid titanu
VB	[mm]	opotřebení hřbetu
VB_B	[mm]	opotřebení hřbetu přímé části ostří (průměrné)
VB_C	[mm]	opotřebení hřbetu v oblasti špičky
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VB_{max}	[mm]	opotřebení hřbetu maximální
VB_N	[mm]	opotřebení hřbetu vrubové
VB_{opt}	[mm]	optimální opotřebení hřbetu
VR	[mm]	radiální opotřebení špičky
Y_2O_3	[-]	oxid yttritý
ZrO_2	[-]	oxid zirkoničitý
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
c_t	[-]	konstanta

d	[mm]	obráběný průměr
f	[mm]	posuv
l	[mm]	délka obrobení
m	[-]	exponent
n	[min ⁻¹]	otáčky
t	[min]	čas nástroje v řezu
v _c	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
v _f	[mm·min ⁻¹]	posuvová rychlost

1. Úvod

V dnešní době, kdy vývoj techniky jde neustále dopředu a ve strojírenství je využíván široký sortiment řezných materiálů, je mnohem více příležitostí ke zkoumání měření opotřebení v třískovém obrábění, než tomu bylo v někdejších dobách. Z důvodu čím dál většího kladení požadavku na snižování výrobních nákladů skrze navržené technologie je kladen důraz na nově navrhované technologie. Jednou z možností nově navrhovaných technologií je dosažení zvýšení trvanlivosti nástroje z nových řezných materiálů. A proto použitím progresivnějších řezných materiálů, které právě zvyšují trvanlivost nástroje, je dosaženo lepších ekonomických výhod. Inteligentní řezné nástroje tak umožňují produktivnější zkoumání řezného materiálu nástroje a jeho trvanlivosti i opotřebení.

Metoda měření opotřebení nástroje pomocí inteligentních řezných nástrojů poskytuje výhodu určení konce trvanlivosti, a to pomocí přerušení odporové vrstvy, která je nanášena na povrchu nástroje. Díky této metodě můžeme měřit opotřebení nástroje během řezu a tím eliminujeme předčasnou výměnu břitové destičky.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením opotřebení vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4) s nanášenou odporovou vrstvou nitridu titanu (TiN). Experimenty této bakalářské práce rozšiřují soustavu experimentů tohoto řezného materiálu a doplňují několikaletý výzkum v této oblasti. Další sledované parametry, které jsou významné pro zpracování tohoto výzkumu, jako je elektrický odpor, zpracovával student Tomáš Dluhoš. Dále bude v práci proveden teoretický rozbor opotřebení řezného nástroje, řezné keramiky, analýza soustavy obrábění, zpracování naměřených hodnot a vyhodnocení experimentu.

Podklady pro vypracování této práce byly získány z odborné literatury, experimentálního měření a informací dosažených z dosavadního studia.

2. Teoretický rozbor problematiky

2.1. Opotřebení řezného nástroje

Každý řezný nástroj při obrábění podléhá určitému opotřebení, tomuto jevu je vystaven až do chvíle dosažení konce doby trvanlivosti. Pro každý proces obrábění existuje ideální průběh opotřebení. [1]

Během procesu obrábění se vytváří značné množství tepla, které se vyvíjí na ploše hřbetu a čela řezného nástroje. Tyto tepelná zatížení velmi namáhají materiál břitu nástroje a tím ovlivňují následné opotřebení. [8]

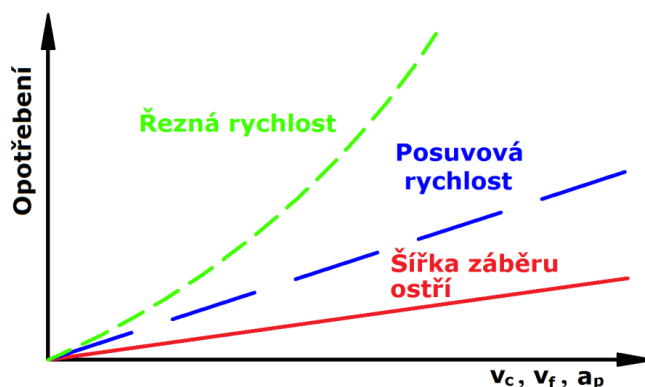
Břit VBD při obrábění načisto je považován za opotřeбенý tehdy, když už není schopen dosahovat požadované kvality opracování povrchu. Zatímco u hrubovacích operací se nebere moc značný ohled na stav povrchu obrobku, a tudíž se tolerují značně větší hodnoty opotřebení. [1]

Vzájemným zharmonizováním řezných podmínek a geometrii břitu, včetně dodržení vhodných podmínek obrábění, lze dosáhnout snížení opotřebení, prodloužení trvanlivosti a tak zvýšení produktivity. [1]

2.1.1. Nejdůležitější faktory ovlivňující opotřebení

Proces opotřebení řezného nástroje je značně složitý děj, který závisí na mnoha faktorech, a to například na mechanických a fyzikálních vlastnostech obráběného i nástrojového materiálu, druhu obráběcí operace, řezných podmínkách, geometrii řezného nástroje, řezném prostředí a jiné. [6]

Z hlediska řezných podmínek na ovlivnění celkového opotřebení nástroje má největší vliv řezná rychlost v_c , menší vliv vykazuje posuvová rychlost v_f a nejméně ovlivňuje šířka záběru ostří a_p (Obr. 2.1.1).



Obr. 2.1.1 - Vliv řezných podmínek na opotřebení [6]

2.1.2. Hlavní mechanismy opotřebení bříty nástroje

V průběhu procesu opotřebení řezného nástroje působí mnoho odlišných fyzikálně-chemických jevů (mechanismů opotřebení) [6]. Níže popsané hlavní mechanismy opotřebení působí záporně na řezný nástrojový materiál a narušuje břit v místě zóny řezání.

K hlavním mechanismům opotřebení patří zejména:

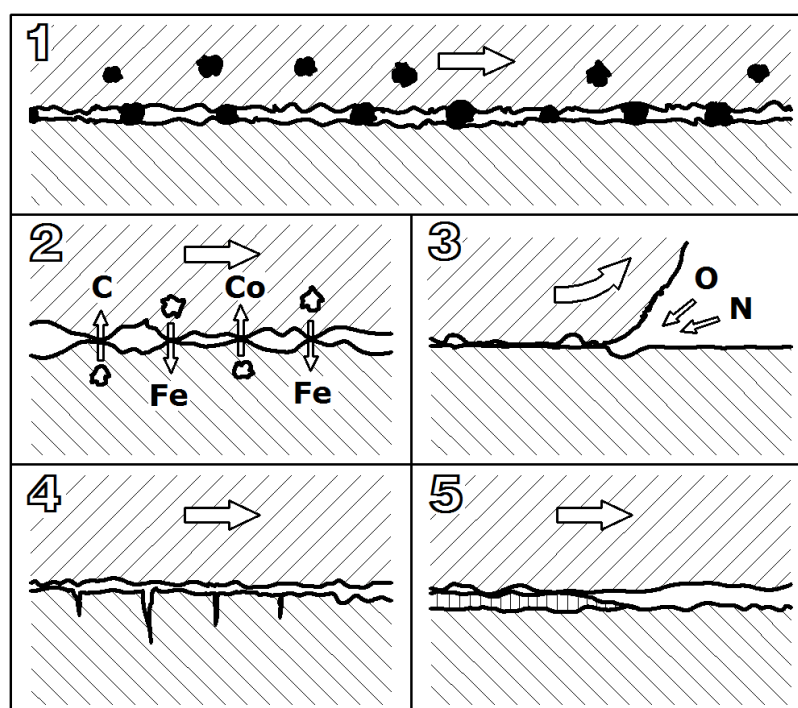
Abrazivní opotřebení (Obr. 2.1.2 - č. 1) - Je velmi rozšířenou formou opotřebení. Vzniká především působením tvrdých mikročástic v materiálu obrobku a mikročástic uvolněných z bříty nástroje. Účinkem mechanického zatížení tak vzniká rovinná plocha na hřbetě bříty. Schopnost bříty vzdorovat tomuto opotřebení je z větší části závislá na jeho tvrdosti. [1; 6]

Difúzní opotřebení (Obr. 2.1.2 - č. 2) - Vytváří se při působení chemických vlivů při procesu obrábění. O tomto opotřebení nejvíce rozhoduje chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku. Principem tohoto opotřebení je přemísťování atomů z nástrojového materiálu do obráběného a naopak, a tím nastává vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje. [1; 6; 10]

Oxidační opotřebení (Obr. 2.1.2 - č. 3) - Okolní vzduch a vysoké teploty způsobují u většiny kovů oxidaci, ačkoli takovéto oxidy působí velmi odlišně. Například wolfram a kobalt tvoří porézní oxidové filmy, které jsou snadno odnášeny třískou. Zatímco u oxidu hlinitého jsou oproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Proto každý řezný nástrojový materiál odlišně reaguje proti tomuto opotřebení. [1]

Lom (Obr. 2.1.2 - č. 4) - Většinou má termomechanické příčiny. Zatížení řeznými silami a kolísání teploty mohou vést k vydrolování a lomu řezného nástroje. Řezné nástrojové materiály reagují na tato zatížení odlišně. [1]

Adhezní opotřebení (Obr. 2.1.2 - č. 5) - Především se vyskytuje během nízkých teplot obrábění, a to na čele břitu nástroje. Tenhle druh opotřebení může vznikat jak u materiálů tvořících krátkou třísku, tak také u materiálu s dlouhou třískou. Tento jev vede k vyprodukování nárůstku mezi břitem a třískou. K zabránění tohoto opotřebení dochází tehdy, jakmile se zvýší teploty řezání. [1]



Obr. 2.1.2 - Hlavní mechanismy opotřebení břitu nástroje [1]

2.1.3. Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje

„Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje byla provedena za účelem vytvoření báze pro posouzení operací obrábění a tím i možnosti ovlivnění produktivity i v tomto předvýrobním stádiu.“ [1]

Dále slouží pro správnou volbu druhů řezných nástrojových materiálů a pro určování náležitých parametrů obrábění vycházejících z kritérií obrábění jako jsou přesnost rozměrů, jakost obrobeného povrchu i kontrolovaný odchod třísky. [1]

Na základě technologických podmínek řezného procesu nabývá opotřebení břitů nástroje různých typů (Obr. 2.1.3):

Opotřebení hřbetu - Vzniká především důsledkem působení mechanismu abrazivního opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše břitu. Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky, i na čelní fasetce, jsou před utvářením třísky, v průběhu a po utváření třísky mimořádně vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně běžným typem opotřebení. Moc velké opotřebení hřbetu břitu způsobuje zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká důvodem změny geometrie břitu. [1; 8]

Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu - Hlavní příčinou vzniku je působení mechanismů adhezivního a oxidačního opotřebení. Vrub se vytváří v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Obrovské opotřebení ve tvaru vrubu má vliv na utváření třísky a může zapříčinit lom destičky. [1; 8]

Hřbenovité trhliny na ostří - Jsou to únavová opotřebení, které vznikají tepelnými šoky. Trhliny se vytváří kolmo na ostří, avšak částice řezného nástrojového materiálu se mohou jednotlivými trhlínami vylamovat a vyvolat náhlý lom břitu. Aplikace chladicích kapalin se nedoporučuje, neboť zvyšuje teplotní rozdíly jak u záběru břitu do materiálu obrobku, tak i u výstupu z něj. [1; 8]

Opotřebení čela ve tvaru žlábků - Vzniká důsledkem působení mechanismů difúzního a abrazivního opotřebení. Žlábek se tvoří částečně úběrem řezného nástrojového materiálu, způsobeným brousícím pochodem, který způsobují tvrdé mikročástice obsažené v materiálu obrobku, ale především difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou (tj. kontaktní místo mezi materiálem břitu a třískou). Neobvykle velké opotřebení v podobě žlábků většinou změní geometrii břitu a ovlivní tak tvar třísky i směr působení řezných sil. [1; 8]

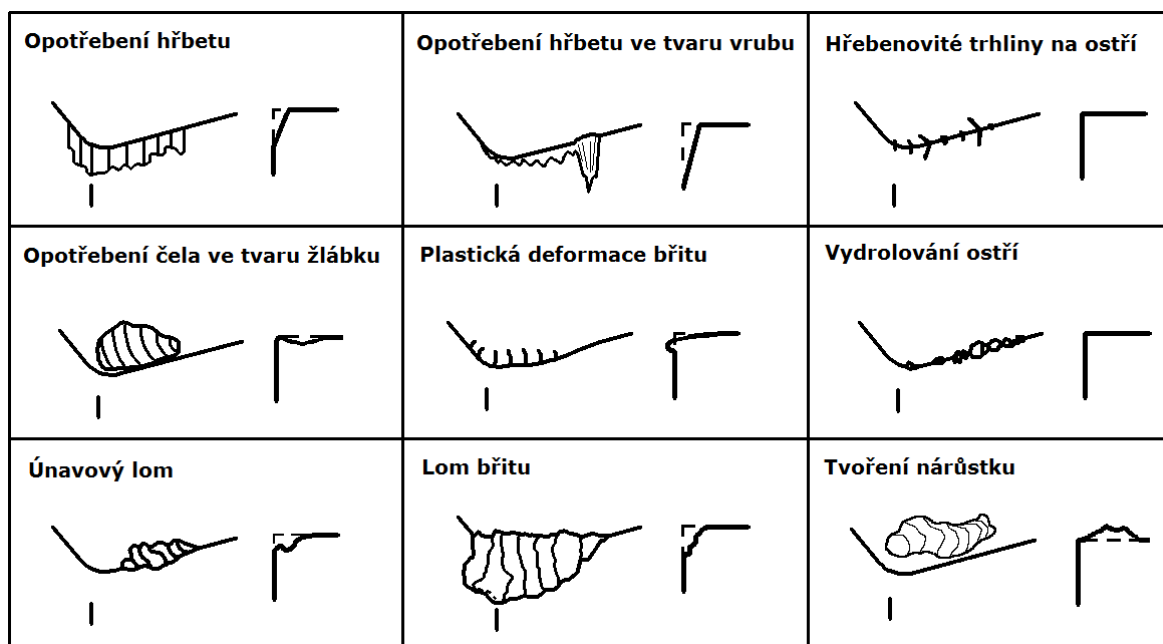
Plastická deformace břitů - Je důsledkem kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. Při dosažení limitní teploty dochází k prudkému poklesu tvrdosti řezného materiálu v důsledku strukturních změn tohoto materiálu. Podstatou plastické deformace břitů je nejobvyklejší kontinuální přesun velice tenké povrchové vrstvičky materiálu břitů v plastickém stavu z povrchu nástroje. V důsledku ztráty tvrdosti nástroje je nástroj rychle opotřebován obrobkem. Tuto plastickou deformaci lze zmírnit použitím správné geometrie břitů a vyhovujícím zaoblením ostří. [1; 10]

Vydrolování ostří - Je typem opotřebení, při kterém se břit namísto stejnoměrného opotřebování vydroluje. Nejčastější příčinou vydrolování ostří jsou přerušované řezy. Trhliny a odlupování materiálu jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitů. [1; 8]

Únavový lom - Je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Nejčastější příčinou vzniku tohoto druhu lomu je vlivem součtu pořad měnících se různých zatížení, kdy působení jednotlivých zatížení není samo o sobě dost velké, aby mělo za následek lom. Lomové plochy probíhají zpravidla souběžně s ostřím. [1; 8]

Lom břitů - Představuje osudný konec každého břitu. Totální lom je obvykle velice nebezpečný a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Destrukce břitů nástroje může mít v některých případech za následek vážné poškození obráběcího stroje. Lom břitů může nastat vlivem různých faktorů, avšak často bývá zvolený materiál břitů málo houževnatý, aby mohl zvládnout veškeré požadavky na obrábění. [1; 10]

Tvoření nárůstku – Ve většině případů je tvorba nárůstku fenoménem, vztahujícím se k řezným rychlostem a teplotám. V méně případech způsobena následkem odlupováním vrstev v místě břitů, nebo jinými formami opotřebení. Kromě změny geometrie břitů působí tato verze opotřebení dále negativně, protože částice materiálu břitů se mohou odlomit společně s navařeným nárůstkem, který je tvořen částicemi materiálu obrobku. Důsledkem tvorby nárůstku je zhoršení jakosti obrobeného povrchu, a v nejhorším případě vede dokonce i k lomu břitové destičky. [1]



Obr. 2.1.3 - Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje [1; 8]

2.1.4. Kritéria opotřebení

Nejdůležitější kritéria jsou opotřebení na hřbetu řezného nástroje, neboť má největší vliv na povrch obráběné součásti.

Nejpoužívanější kritéria opotřebení:

VB - Opotřebení hřbetu

VB_C - Opotřebení hřbetu v oblasti špičky

VB_N - Opotřebení hřbetu vrubové

VB_B - Opotřebení hřbetu přímé části ostří (průměrné)

VB_{max} - Opotřebení hřbetu maximální

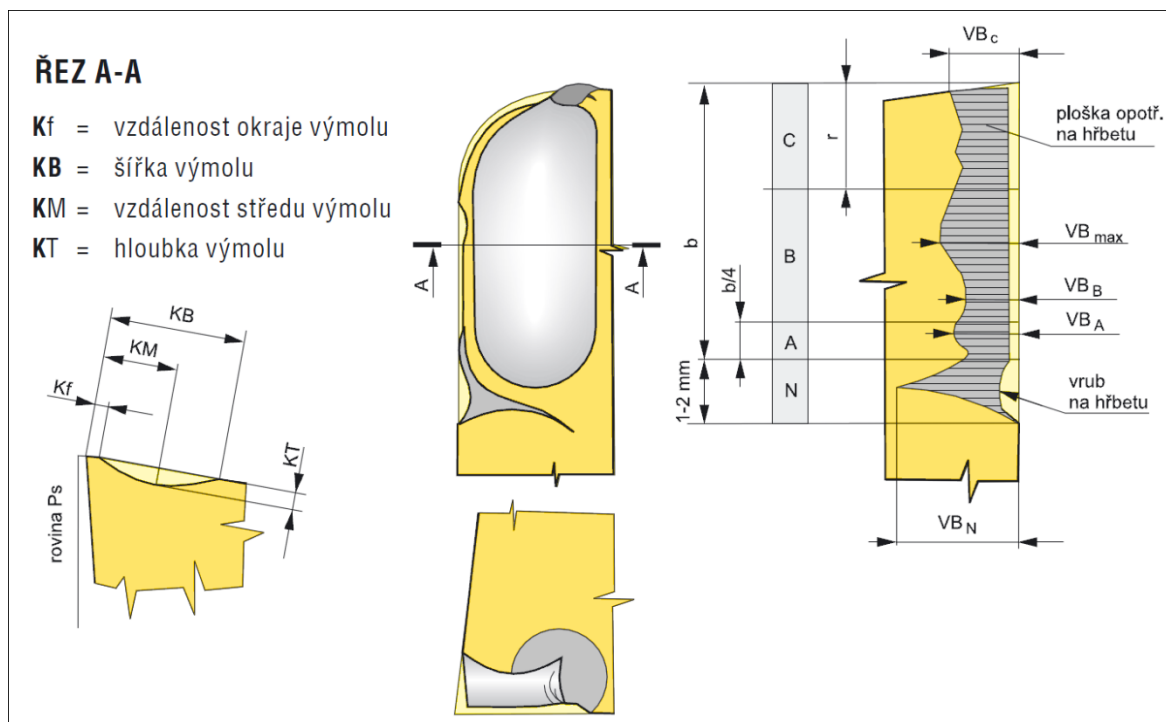
KT - Hloubka žlábků opotřebení čela

KB - Šířka žlábků opotřebení čela

KM - Poloha středu žlábků opotřebení čela

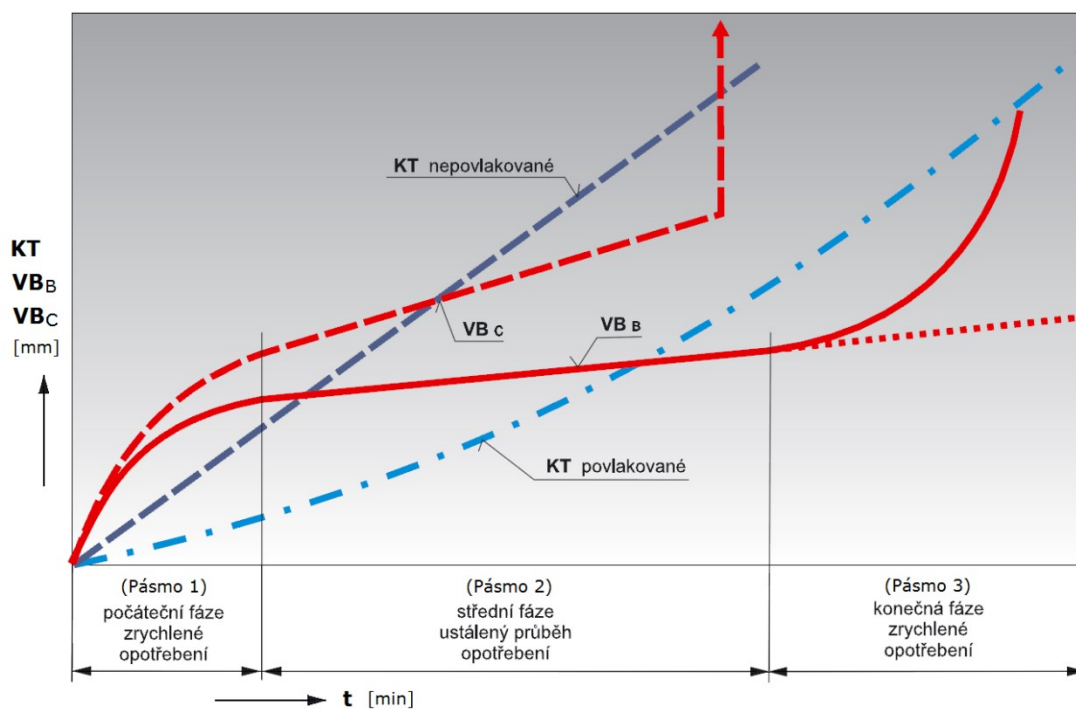
KF - Vzdálenost žlábků od čela

VR - Radiální opotřebení špičky



Obr. 2.1.4.1 - Kritéria opotřebení břitu podle normy ISO 3685 [12]

Na Obr. 2.1.4.1 lze spatřit typy opotřebení břitu nástroje dle normy ISO 3685 spolu s označením jejich charakteristických rozměrů.



Obr. 2.1.4.2 - Graf závislosti opotřebení K_T , V_{BB} a V_{BC} na době řezání [12]

Obr. 2.1.4.2 schematicky popisuje závislost opotřebení na době řezání a lze si všimnout rozdělení do tří pásem:

Pásmo 1 - Zrychlené záběhové opotřebení obecně souvisí se záběhem nástroje a je zapříčiněno vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikronerovností povrchu hřbetu a specifickou defektností povrchové vrstvy, vyvolanou podmínkami ostření. [8]

Pásmo 2 - Dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, to znamená, že intenzita opotřebení je konstantní. [8]

Pásmo 3 - Počáteční bod zrychleného nadměrného opotřebení je zpravidla spojen s limitní teplotou řezání a s výrazným poklesem tvrdosti rezného materiálu. Nastává velmi rychlé opotřebení zvané lavinovité opotřebení. [8]

2.1.5. Metody měření opotřebení

Pro měření opotřebení se používají metody přímé a nepřímé.

Přímé metody - Při těchto metodách je nutnost přerušení obráběcího procesu. Patří sem metoda váhová (hmotnostní), radioizotopová (radioaktivních izotopů), mikrometrická, optická (stínová), pneumatická a metoda nanesené odporové vrstvy. [2]

Nepřímé metody - Měření těmito metodami probíhá přímo při obráběcím procesu, přičemž se tyto metody opírají o některé znaky, které proces opotřebování doprovází. Spadá zde vznik lesklého proužku na povrchu obrobku, vzrůst složek síly řezání, zvýšení výkonu řezání, zvýšení teploty řezání, vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku, změna tvaru a barvy třísky, změna rozměrů obrobku, zhoršení drsnosti povrchu a akustická emise (emise signálů v pásmu ultrazvuku). [2]

2.2. Řezná keramika

Keramika je obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož nejdůležitější složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami kovalentními a iontovými, avšak jejich vazba není čistě kovalentní nebo čistě iontová, zpravidla jsou přítomné oba typy vazeb současně. V krystalové struktuře, představující základ keramických materiálů, mají převahu složité mřížky hexagonální a kubické. [4; 5]

2.2.1. Vlastnosti řezných keramik

Keramické řezné materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost zatepla, dobrou odolnost proti plastické deformaci i odolnost proti mechanickému namáhání (zejména tlakem), dále mají nízkou měrnou hmotnost, vysokou chemickou stabilitu a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují dlouhou trvanlivost bříty a mohou být aplikovány při vysokých řezných rychlostech. Při vhodném použití je možné dosáhnout neobyčejně velkého objemu odebraného materiálu. [1; 4; 5]

Nicméně typickou mechanickou vlastností keramiky je křehkost. Schází jí tedy vlastnosti typické pro kovy, jako je houževnatost (silná absorpce energie při porušování) a tvárnost (schopnost značné plastické deformace). [4; 5]

2.2.2. Rozdělení a značení řezné keramiky

Pro rozdělení a značení řezné keramiky neexistuje konkrétní norma. Všeobecně je přijímáno dělení na oxidovou keramiku a nitridovou keramiku, přičemž prakticky všechny druhy keramiky pro řezné nástroje lze vyrábět ve formě s vyztužujícími vlákny, whiskery SiC nebo Si₃N₄ a s otěruvzdornými PVD anebo CVD povlaky. [4; 5; 7]

Oxidová keramika:

- Čistá (Al₂O₃).
- Polosměsná (Al₂O₃+ZrO₂, Al₂O₃+ZrO₂+CoO).
- Směsná (Al₂O₃+TiC, Al₂O₃+ ZrO₂+TiC, Al₂O₃+TiC+TiN).

Nitridová keramika:

- Si₃N₄, Si₃N₄+Y₂O₃, Si₃N₄+TiN, sialony.

2.2.3. Zjednodušený obecný postup výroby

Proces výroby kompaktních keramických součástí, včetně vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje, lze shrnout: příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předslinování, slinování, tepelné zpracování, úpravy povrchu.

Utváření třísky se řeší jednoduchým předlisovaným anebo vybroušeným stupínkem, či dokonce přiloženou karbidovou destičkou. [11]

Podstatnou informací je, že keramické výrobky neobsahují žádný materiál, jehož úkolem by bylo spojení zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Tato skutečnost veškerou výrobu keramických materiálů zřetelně znesnadňuje a klade velice vysoké nároky jak na výrobní zařízení, tak zejména na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. [4; 5]

2.2.4. Využití a uplatnění v oblasti soustružení

K zásadním podmínkám efektivního využití řezné keramiky při soustružení patří zejména: vysoká tuhost systému stroj-nástroj-obrobek, použití výkonných obráběcích strojů s velkým rozsahem posuvů a otáček i možností nastavení vysokých řezných rychlostí, zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku, odstranění kůry obráběného polotovaru (především u výkovků, odlitků i válcovaného materiálu), sražení náběhových hran na obrobku, najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu, výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky a vyhovující volba tvaru ostří břitové destičky. [5; 11]

Hlavní oblasti uplatnění pro řeznou keramiku jsou obrábění šedé litiny, temperované a tvárné litiny, žárupevných a žáruvzdorných slitin, zušlechtěných (kalených) ocelí a v některých případech i ocelí. [11]

3. Analýza soustavy obrábění při experimentu

3.1. Použitý stroj

K uskutečnění experimentu byl použit vysoce výkonný a moderní CNC soustruh značky MORI SEIKI NLX 2500/700, který byl nově pořízen a nachází se v areálu VŠB-TUO. Tento stroj je vyfocen na Obr. 3.1.1 a pracovní rozsah stroje je uveden v Tab. 3.1.1.



Obr. 3.1.1 - Použitý stroj NLX 2500/700

Tab. 3.1.1 - Pracovní rozsah stroje

Popis	Hodnota
Oběžný průměr nad ložem	590 mm
Oběžný průměr nad supportem	360 mm
Pojezd v ose X	260 mm
Pojezd v ose Z	795 mm
Maximální otáčky vřetena	3500 min ⁻¹
Maximální průměr na otočení	460 mm
Maximální délka na otočení	728 mm
Výkon motoru	18,5 kW

3.2. Řezný nástroj

Pro uskutečnění tohoto experimentu byly poskytnuty vyměnitelné břitové destičky od firmy Kyocera, a to vyrobené z řezné keramiky s označením KS6000, na kterou je nanесena odporová vrstva z TiN (Obr. 3.2.1). Způsob nanесení této vrstvy není známo, neboť to je výrobním tajemstvím firmy Kyocera.



Obr. 3.2.1 - VBD Kyocera KS6000

KS6000 - Je křemíko-nitridická keramika (na bázi Si_3N_4) především vhodná pro obrábění všech druhů litin, přičemž samotné obrábění lze uskutečnit „s“ nebo „bez“ chlazení. Tato nitridová keramika vyniká vyšší houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti a umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem. [3; 9]

3.3. Držák řezného nástroje

Pro experiment byl zvolen speciální nožový držák pro VBD od firmy CERADEx, který umožňuje vést signál elektrického proudu vlastním tělem, a tak může sloužit k záznamu elektrického odporu VBD, který je náplní vyhodnocení jiné bakalářské práce. Přesné označení tohoto držáku je XCSRNR2525M-1204SEN, který lze vidět na Obr. 3.3.1.



Obr. 3.3.1 - Držák CERADEx XCSRNR2525M-1204SEN

3.4. Obráběný materiál

Pro experiment této bakalářské práce byl zvolen materiál dle ČSN 10 027-1 X120Mn12 (17 618). Chemické složení tohoto materiálu je uvedeno v Tab. 3.4.1 a mechanické vlastnosti v Tab. 3.4.2.

Materiál X120Mn12 - Jedná se o ocel manganovou, odolnou proti opotřebení. Obrobitelnost i svařitelnost obtížná. Tento materiál je vhodný na součásti vystavené velkému otěru při současném tlaku a rázu: nože, svorníky, vodítka, pouzdra, válce mlýnů na kámen, uhlí, koks a mlýny na cement.

Tab. 3.4.1 - Chemické složení materiálu

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]
1,1 - 1,3	12 - 13	0,3 - 0,5	max. 0,1	max. 0,04	max. 1,5

Tab. 3.4.2 - Mechanické vlastnosti materiálu

R _m [MPa]	R _e [MPa]
1130	390

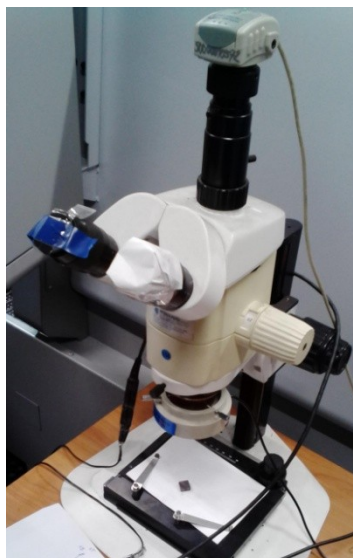
3.5. Procesní kapalina

U některých břitů při obráběcím procesu byla aplikována procesní kapalina. Složení této procesní kapaliny bylo smíchání vody s 5% koncentrací produktu ERO-SB od společnosti PARAMO.

Produkt ERO-SB - Je ropný olej tvořící s vodou stabilní emulzi, která se používá jako procesní kapalina při obrábění kovů. Doporučená koncentrace je 3 až 7 procent. Uplatnění tohoto produktu je především při obrábění lehkých slitin, ale také u dalších materiálů se zhoršenou obrobitelností.

3.6. Záznamové zařízení pro měření hodnot

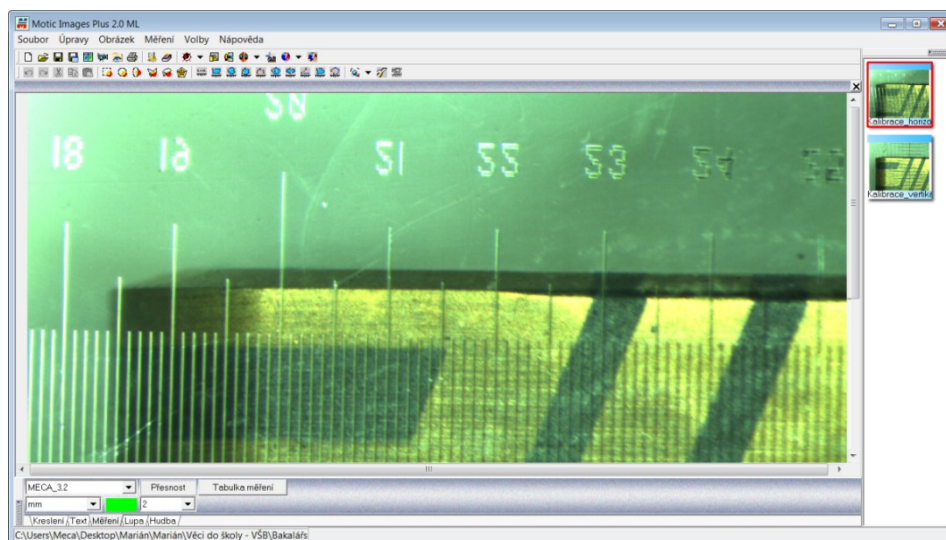
Pro měření opotřebení VBD byla zvolena mikrometrická metoda. Měření bylo uskutečněno na dílenském mikroskopu od firmy INTRACO MICRO spol. s.r.o., který je zobrazen na Obr. 3.6.1. Měřená břitová destička byla osvětlena pomocí osvětlovače, který byl upevněn na těle mikroskopu. Mikroskop byl vybaven digitální kamerou, která byla zapojena do stolního počítače, jenž umožnil záznam potřebných informací a to pomocí záznamového programu *Motic Image Plus 2.0*, díky kterému bylo možné získat detailní fotografie opotřebení nástroje. Tyto fotografie se ukládaly přímo do počítače. Skutečné naměřené hodnoty bylo teprve možné získat až po vhodné kalibraci záznamového zařízení.



Obr. 3.6.1 - Dílenský mikroskop

3.7. Kalibrace záznamového zařízení

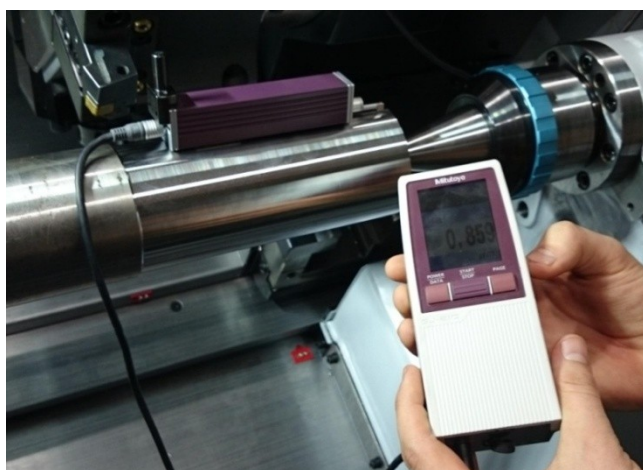
Pro naměření hodnot opotřebení VBD bylo nutné provést kalibraci pomocí objektivové měrky. Před započítím samotného měření opotřebení na nástroji, je zapotřebí provést kalibraci vyhodnocovacího okna v programu *Motic Image Plus 2.0*. Kalibrace se provede pomocí objektivové měrky se stupnicí (Obr. 3.7.1), přičemž pro kalibraci softwaru je nutné vyfocení objektivové měrky ve stejné vzdálenosti pro daný typ opotřebení (Obr. 3.7.2), a toto je potřeba provést jak pro vzdálenost měření opotřebení na hřbetu, tak pro měření opotřebení na čele nástroje.

*Obr. 3.7.1 - Objektivová měrka**Obr. 3.7.2 - Horizontální kalibrace vyhodnocovacího okna*

Při kalibraci se přiřadí délková vzdálenost objektivové měrky k určitému počtu bodů fotografie, díky čemuž program *Motic Images Plus 2.0* určí velikost jednoho bodu DPI fotografie, a tím umožňuje měřit délkové vzdálenosti, a tak i opotřebení břitů nástroje.

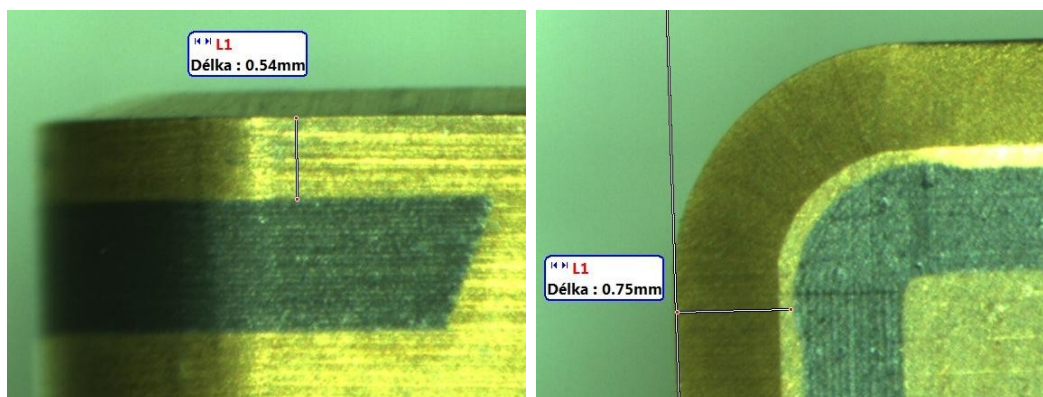
3.8. Drsnoměr

Drsnost povrchu byla zjišťována pomocí přístroje na měření drsnosti Surfesst SJ-210 od firmy Mitutoyo, který je vyfocen při měření experimentu na Obr. 3.8.1.

*Obr. 3.8.1 - Drsnoměr Surfesst SJ-210*

3.9. Postup prováděného experimentu

Před zahájením experimentu byla změřena kritická hodnota opotřebení VBD, která byla dána velikostí naneseného povlaku. Jak si lze všimnout na Obr. 3.9.1, je tedy hodnota na hřbetu destičky rovna 0,54 mm a na čele 0,75 mm.



Obr. 3.9.1 - Měření hodnoty opotřebení VBD, vlevo hřbet, vpravo čelo

V rámci přípravy byl polotovár upnut do tříčelistového sklíčidla a podepřen hrotem. Povrch materiálu bylo nutné zbavit okují a nerovností, aby výsledky experimentu nebyly zkresleny. Až poté následovalo samotné měření. Po každém provedeném řezu byly pořízeny foto snímky VBD, a následně naměřeny hodnoty pomocí softwaru *Motic Images Plus 2.0*, a také naměřeny hodnoty drsnosti povrchu.

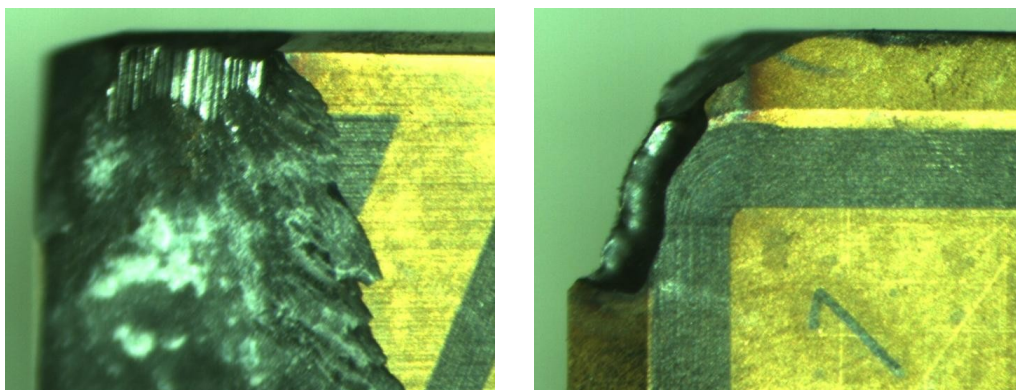
Všechna měření byla provedena za konstantní hloubky řezu 1,6 mm i posuvu 0,2 mm, a v dalších měření se měnila hodnota řezné rychlosti a použití procesní kapaliny.

Experiment se dále zaměřuje na sledování závislosti opotřebení VBD, a pro průběhy jednotlivých parametrů drsností byly zvoleny závislosti na opotřebení hřbetu, neboť právě hřbet je přikloněný k obráběné ploše, a proto nejvíce ovlivňuje obráběnou plochu.

4. Zpracování naměřených hodnot

4.1. VBD A břit č. 1

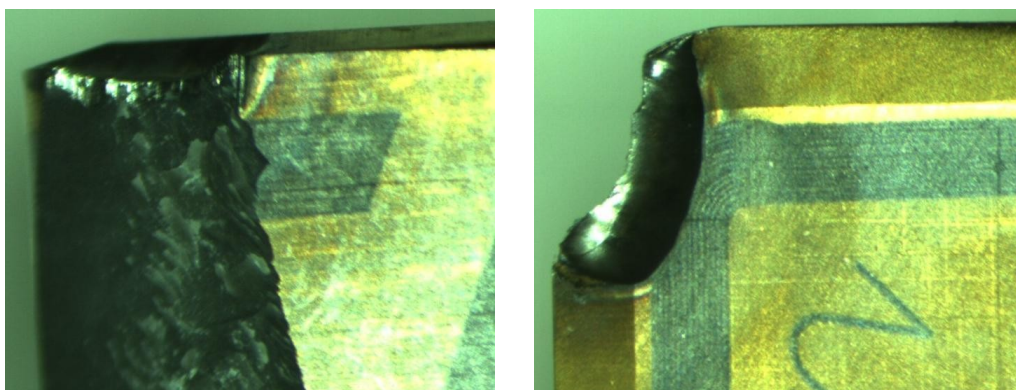
U VBD A břitu č. 1 při prvním řezu došlo k drastickému lomu břitu a také uletění VBD z nožového držáku. To znamenalo ukončení trvanlivosti tohoto břitu nástroje. Pravděpodobně tomu bylo příčinou zvolení až příliš vysoké řezné rychlosti, a to $500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Lom tohoto břitu zobrazuje Obr. 4.1.1.



Obr. 4.1.1 - Lom břitu VBD A břit č. 1, vlevo hřbet, vpravo čelo

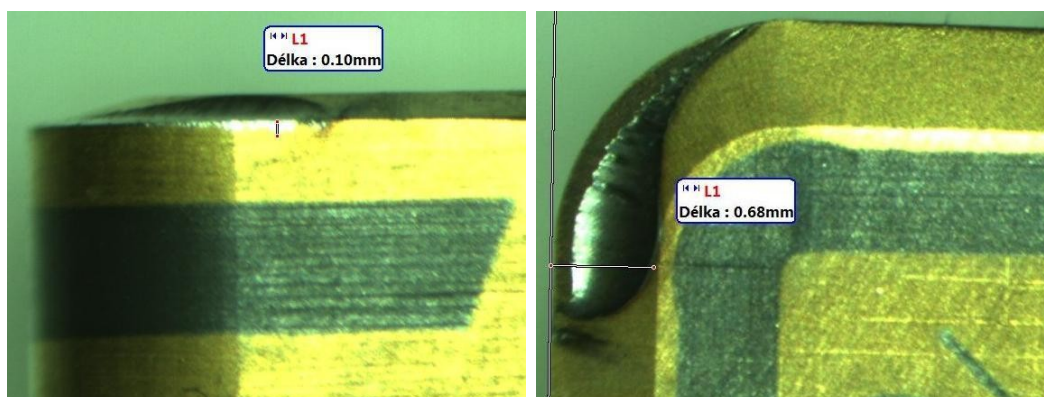
4.2. VBD A břit č. 2

Na VBD A břitu č. 2 bylo provedeno celkem šest řezů, u nichž byla při procesu obrábění použita procesní kapalina, přičemž v posledním řezu došlo k lomu břitu nástroje. Lom tohoto břitu nástroje zobrazuje Obr. 4.2.1.



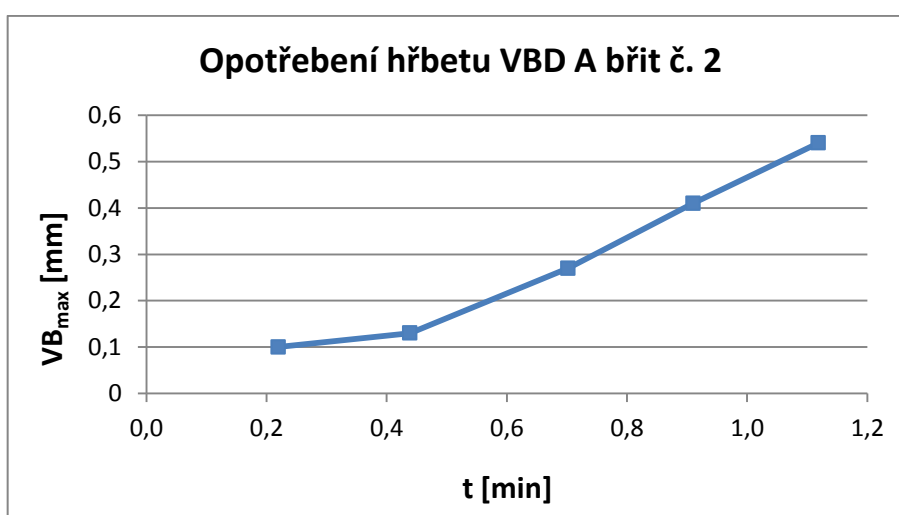
Obr. 4.2.1 - Lom břitu VBD A břit č. 2, vlevo hřbet, vpravo čelo

Ukázku měření na hřbetu a čele nástroje zobrazuje Obr. 4.2.2:



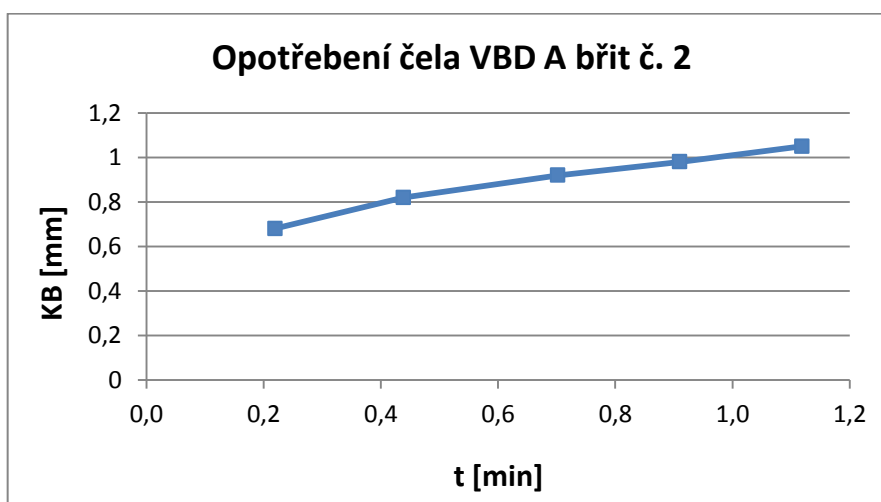
Obr. 4.2.2 - Měření opotřebení, vlevo hřbet, vpravo čelo

Graf závislosti opotřebení hřbetu na čase zobrazuje Obr. 4.2.3:



Obr. 4.2.3 - Graf závislosti opotřebení na čase

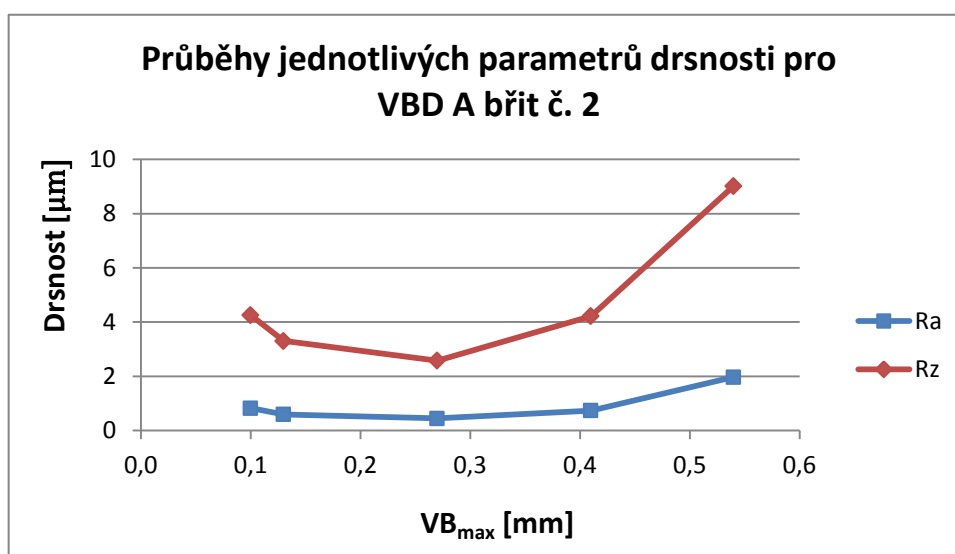
Graf závislosti opotřebení čela na čase zobrazuje Obr. 4.2.4:



Obr. 4.2.4 - Graf závislosti opotřebení na čase

Aplikování procesní kapaliny při procesu obrábění mělo za následek prodloužení životnosti tohoto břítu, než tomu bylo u VBD B břítu číslo 2, kde nebyla procesní kapalina použita, a to za stejné řezné rychlosti. Břit tedy díky procesní kapalině dosáhl kritické hodnoty opotřebení hřbetu později. Nicméně kritického opotřebení čela ve tvaru žlábků bylo skoro dosaženo po prvním řezu.

Graf závislosti průběhů jednotlivých parametrů drsností na opotřebení hřbetu zobrazuje Obr. 4.2.5:

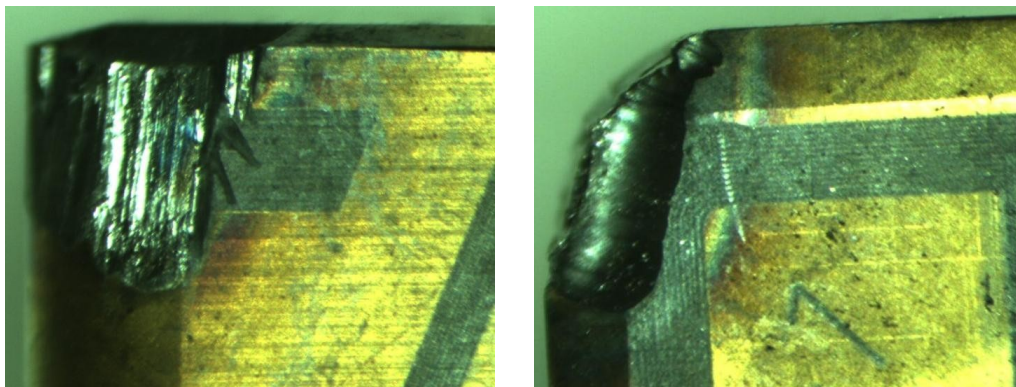


Obr. 4.2.5 - Graf závislosti drsnosti na opotřebení hřbetu

Nejlepších hodnot drsnosti povrchu bylo dosaženo po třetím řezu při opotřebení hřbetu $VB_{\max} = 0,27$ mm, a to $R_a = 0,449$ μm a $R_z = 2,579$ μm .

4.3. VBD B břit č. 1

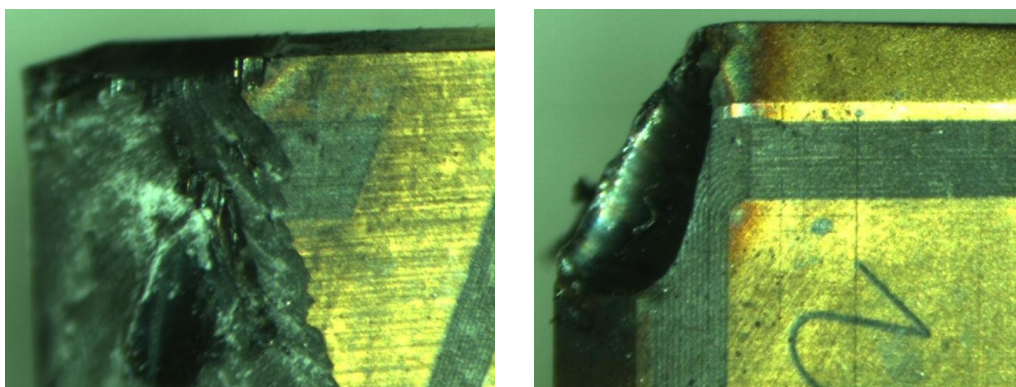
U VBD B břítu č. 1 byly provedeny dva řezy. Po prvním řezu byla hodnota opotřebení hřbetu VB_{\max} rovna 0,48 mm, která nepřekročila optimální mez opotřebení na hřbetu nástroje, a hodnota opotřebení na čele KB rovna 1,01 mm, která překročila optimální mez opotřebení na čele nástroje. Při druhém řezu došlo k lomu břítu nástroje, který měl za následek ukončení trvanlivosti tohoto břítu. Tento lom břítu nástroje zobrazuje Obr. 4.3.1.



Obr. 4.3.1 - Lom břitu VBD B břit č. 1, vlevo hřbet, vpravo čelo

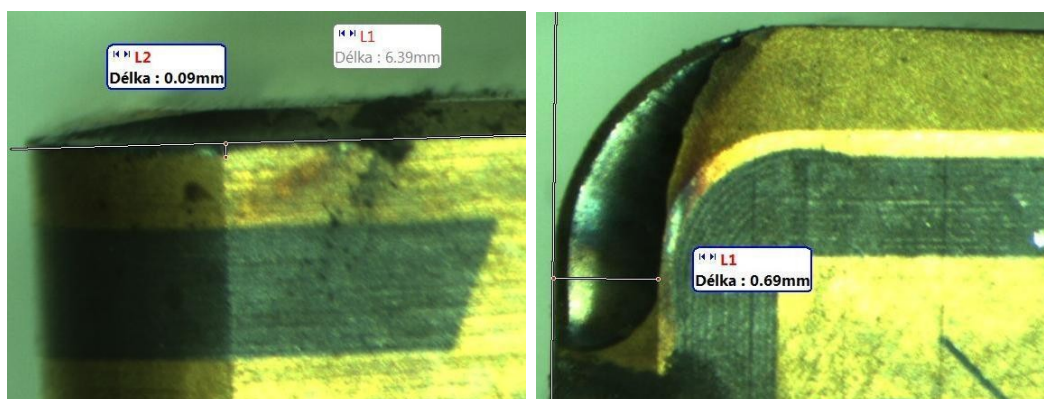
4.4. VBD B břit č. 2

Na VBD B břitu č. 2 bylo provedeno celkem pět řezů, přičemž v posledním řezu došlo k lomu břitu nástroje. Lom tohoto břitu nástroje zobrazuje Obr. 4.4.1.



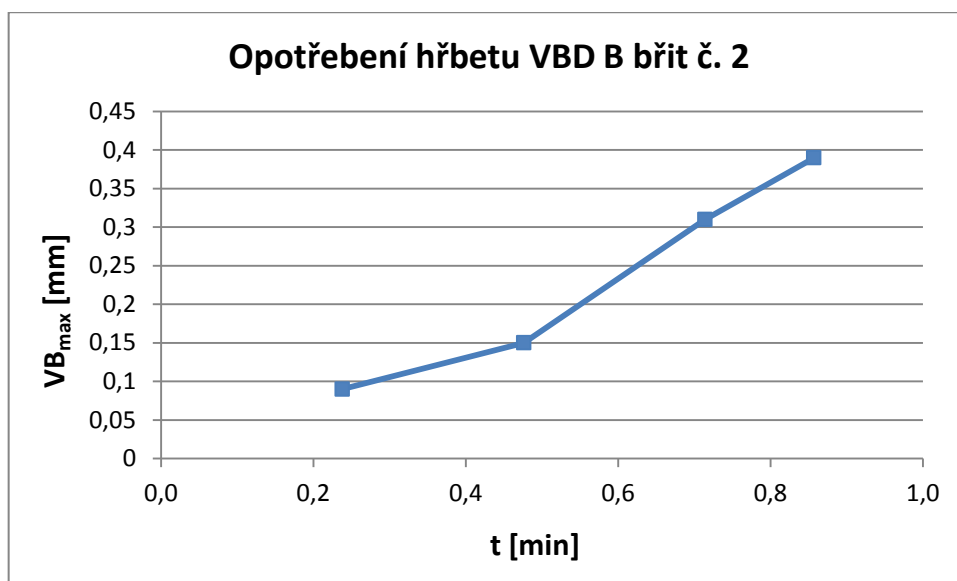
Obr. 4.4.1 - Lom břitu VBD B břit č. 2, vlevo hřbet, vpravo čelo

Ukázku měření na hřbetu a čele nástroje zobrazuje Obr. 4.4.2:



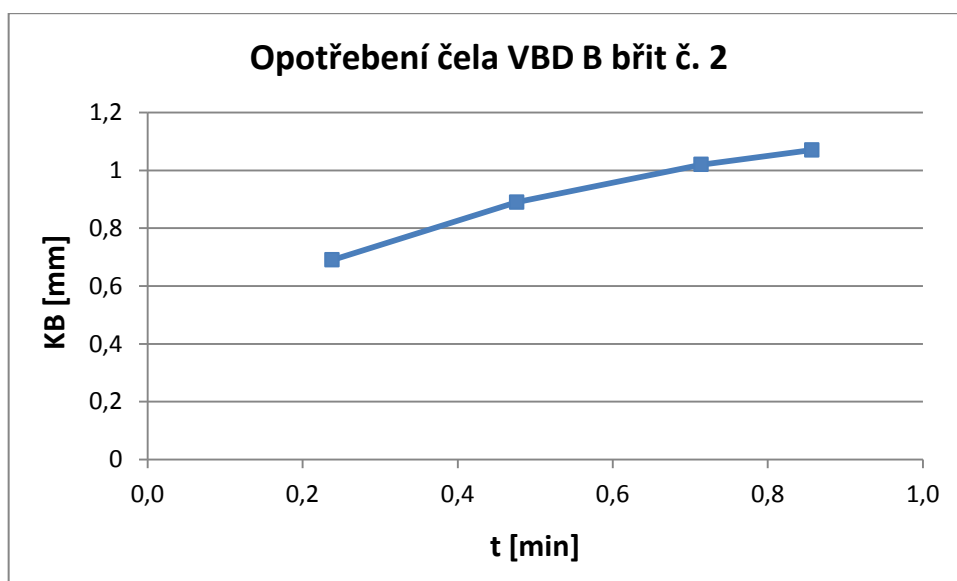
Obr. 4.4.2 - Měření opotřebení, vlevo hřbet, vpravo čelo

Graf závislosti opotřebení hřbetu na čase zobrazuje Obr. 4.4.3:



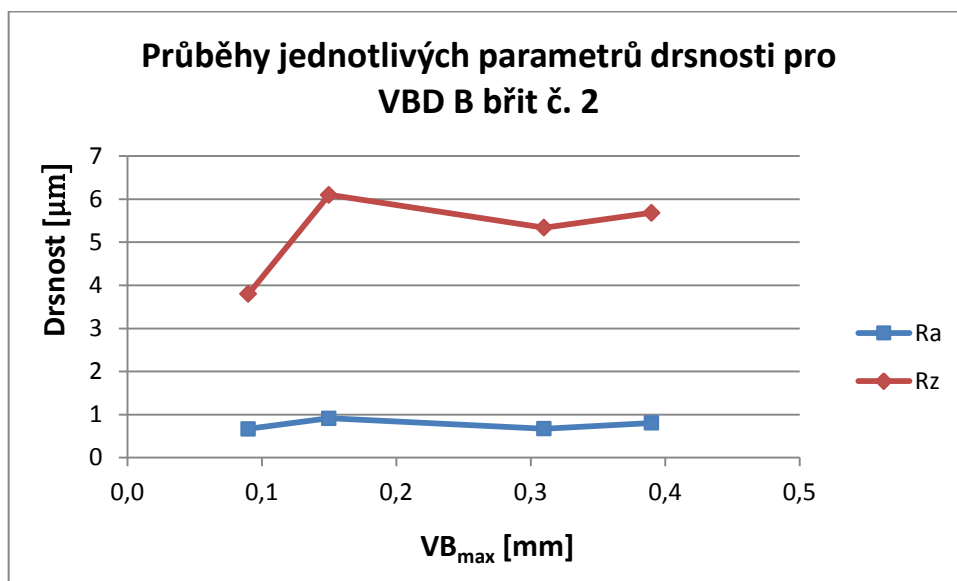
Obr. 4.4.3 - Graf závislosti opotřebení na čase

Graf závislosti opotřebení čela na čase zobrazuje Obr. 4.4.4:



Obr. 4.4.4 - Graf závislosti opotřebení na čase

Graf závislosti průběhů jednotlivých parametrů drsnosti na opotřebení hřbetu zobrazuje Obr. 4.4.5:



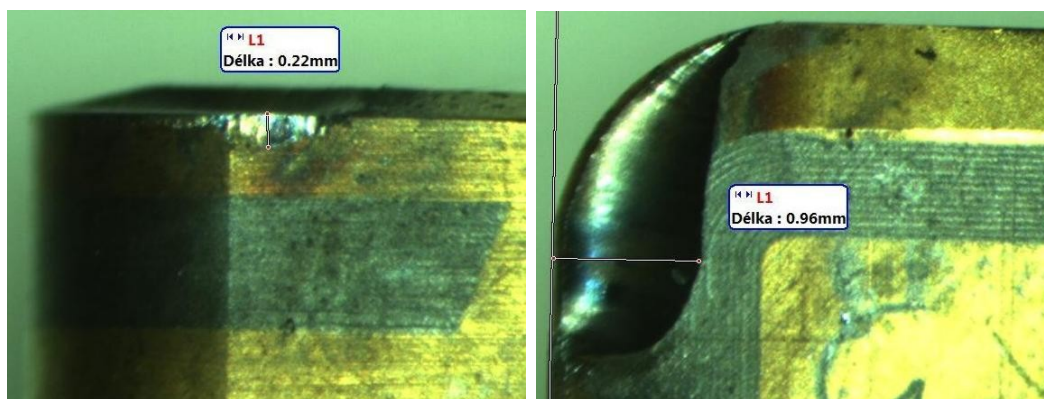
Obr. 4.4.5 - Graf závislosti drsnosti na opotřebení hřbetu

Po první řezu bylo dosaženo nejlepších hodnot drsnosti povrchu, kde $R_a = 0,67 \mu m$ a $R_z = 3,8 \mu m$, a to při opotřebení hřbetu $VB_{max} = 0,09 mm$.

4.5. VBD B břit č. 3

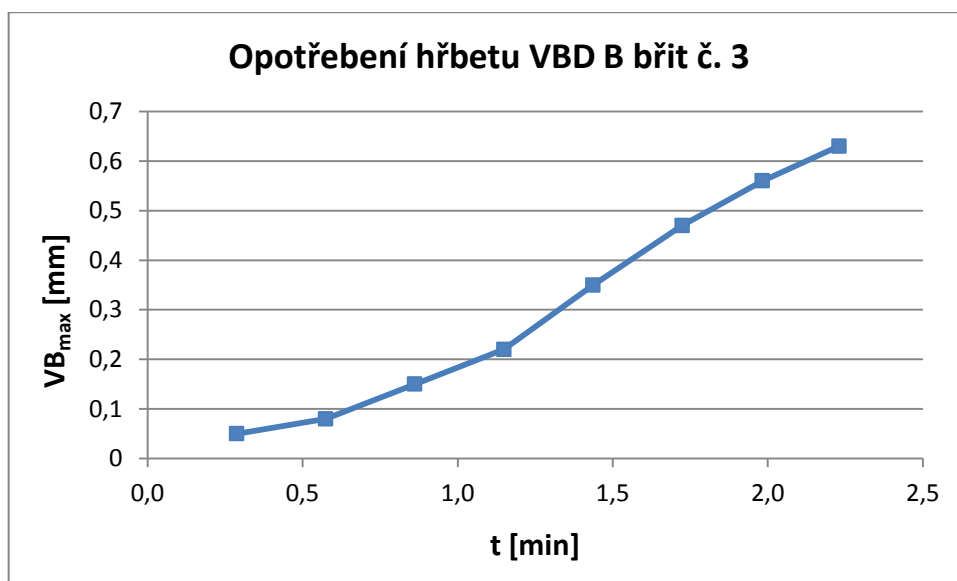
Na VBD B břitu č. 3 bylo provedeno celkem osm řezů. U tohoto břitu jako u jediného nenastal lom břitu nástroje. Tento břit dosáhl nejdelších strojních časů i celkové délky obrobení.

Ukázku měření na hřbetu a čele nástroje zobrazuje Obr. 4.5.1:



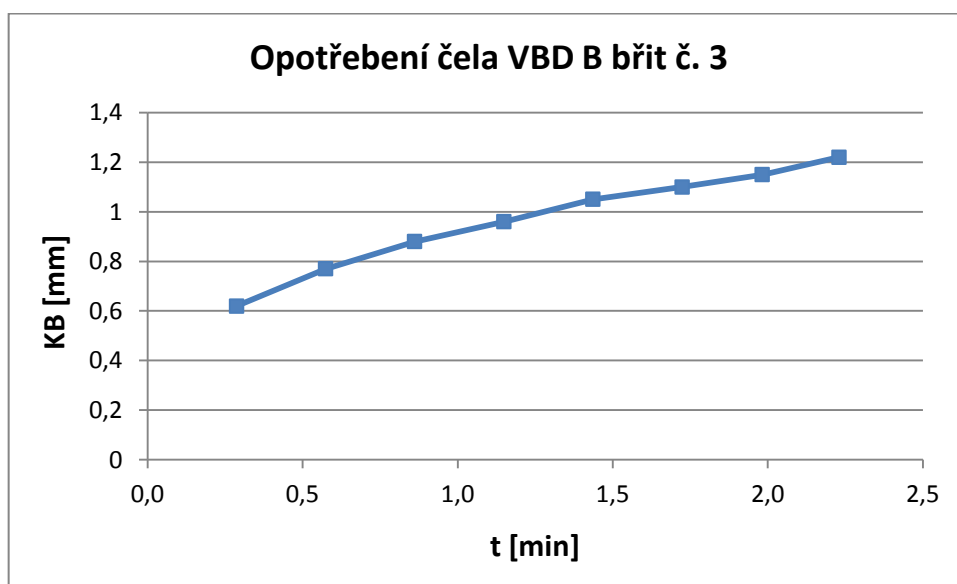
Obr. 4.5.1 - Měření opotřebení, vlevo hřbet, vpravo čelo

Graf závislosti opotřebení hřbetu na čase zobrazuje Obr. 4.5.2:



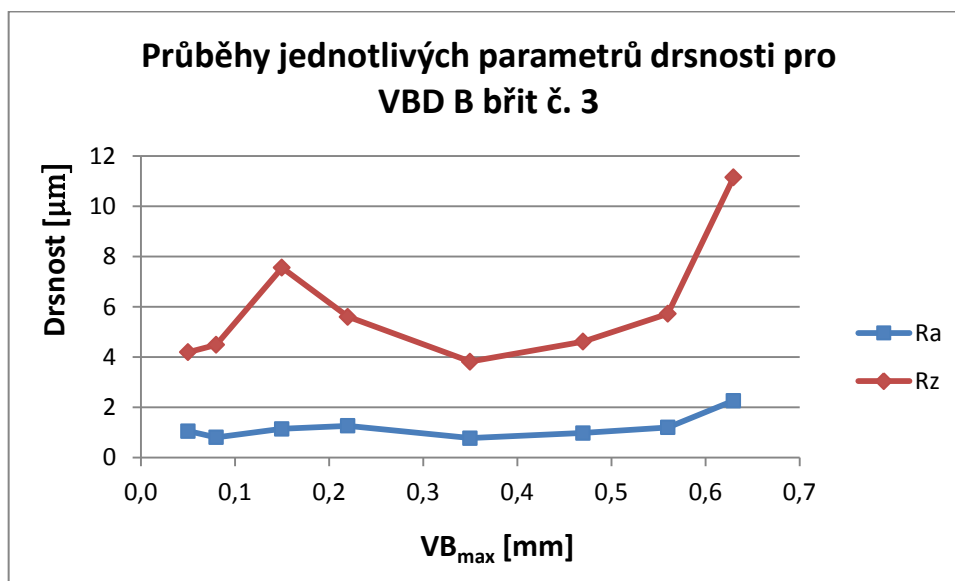
Obr. 4.5.2 - Graf závislosti opotřebení na čase

Graf závislosti opotřebení čela na čase zobrazuje Obr. 4.5.3:



Obr. 4.5.3 - Graf závislosti opotřebení na čase

Graf závislosti průběhů jednotlivých parametrů drsností na opotřebení hřbetu zobrazuje Obr. 4.5.4:

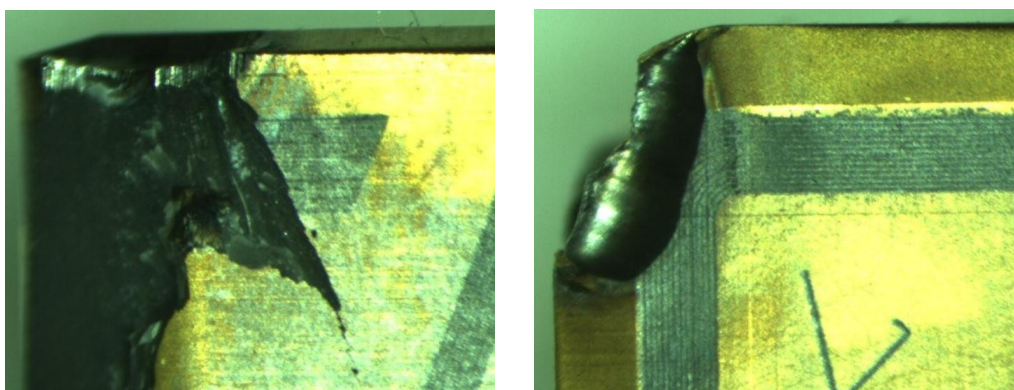


Obr. 4.5.4 - Graf závislosti drsnosti na opotřebení hřbetu

Nejlepších hodnot drsnosti povrchu bylo dosaženo po pátém řezu při opotřebení hřbetu $VB_{\max} = 0,35$ mm, a to $R_a = 0,774$ μm a $R_z = 3,824$ μm .

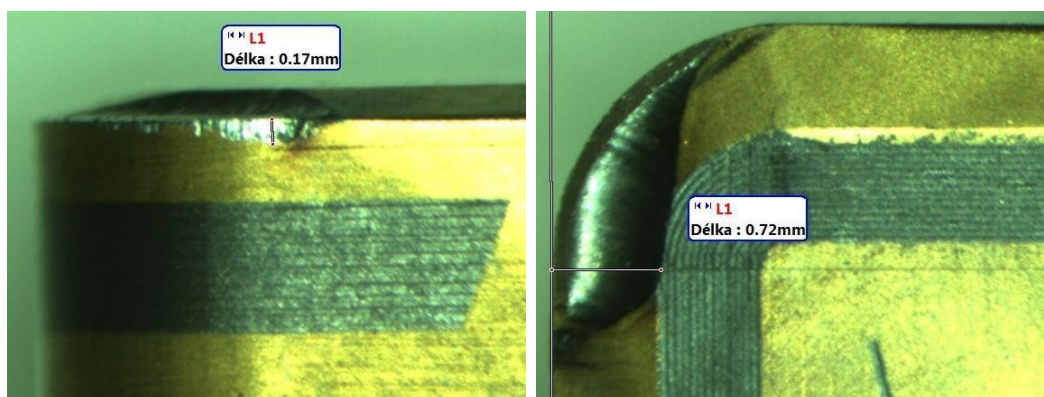
4.6. VBD B břit č. 7

Na VBD B břitu č. 7 bylo provedeno celkem čtyři řezy, přičemž v posledním řezu došlo k lomu břitu nástroje. Lom tohoto břitu nástroje zobrazuje Obr. 4.6.1.



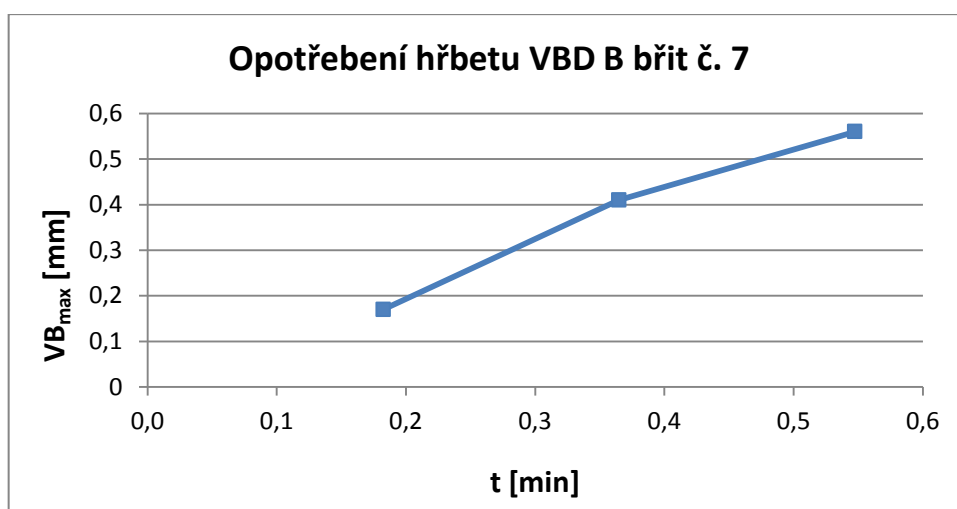
Obr. 4.6.1 - Lom břitu VBD B břit č. 7, vlevo hřbet, vpravo čelo

Ukázku měření na hřbetu a čele nástroje zobrazuje Obr. 4.6.2:



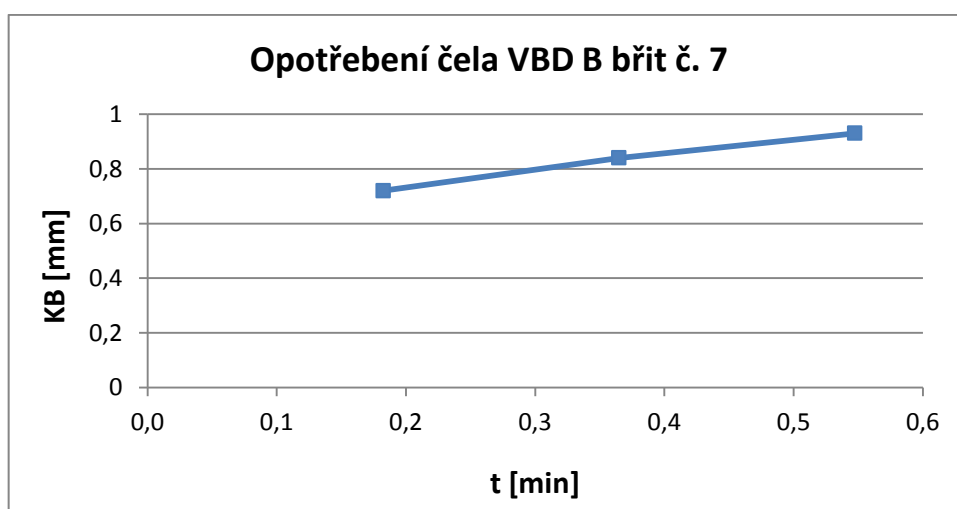
Obr. 4.6.2 - Měření opotřebení, vlevo hřbet, vpravo čelo

Graf závislosti opotřebení hřbetu na čase zobrazuje Obr. 4.6.3:



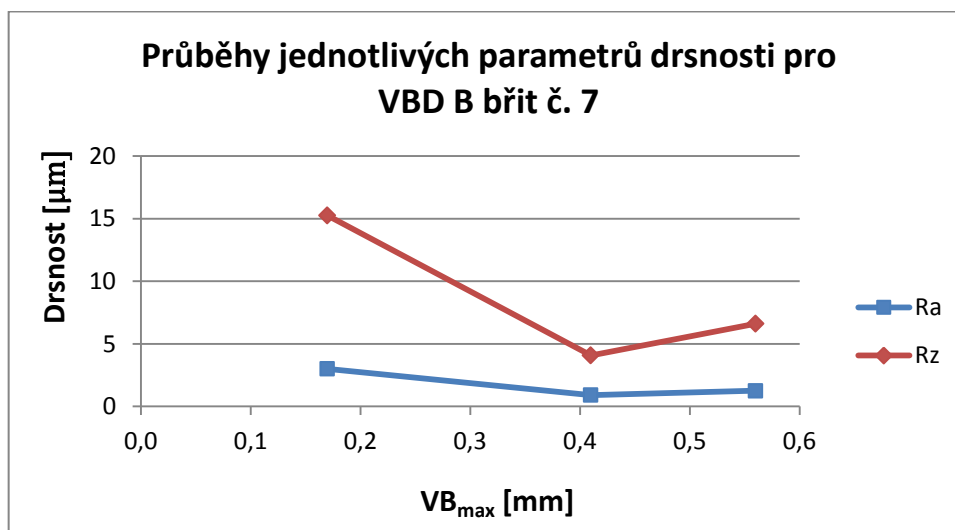
Obr. 4.6.3 - Graf závislosti opotřebení na čase

Graf závislosti opotřebení čela na čase zobrazuje Obr. 4.6.4:



Obr. 4.6.4 - Graf závislosti opotřebení na čase

Graf závislosti průběhů jednotlivých parametrů drsností na opotřebení hřbetu zobrazuje Obr. 4.6.5:



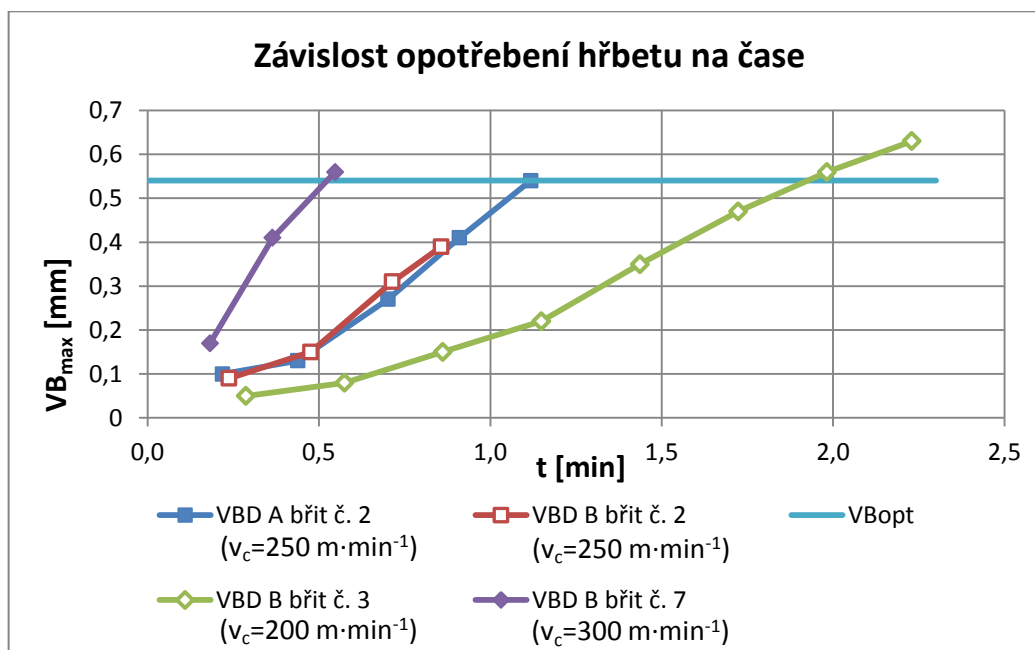
Obr. 4.6.5 - Graf závislosti drsnosti na opotřebení hřbetu

K řezu č. 1 spadají vysoké hodnoty drsnosti povrchu, jejich příčinou pravděpodobně bylo špatné uchycení VBD do držáku řezného nástroje. Nejlepších hodnot drsnosti povrchu tedy bylo změřeno po druhém řezu při velikosti opotřebení hřbetu $VB_{max} = 0,41$ mm, a to $R_a = 0,901$ μm a $R_z = 4,08$ μm .

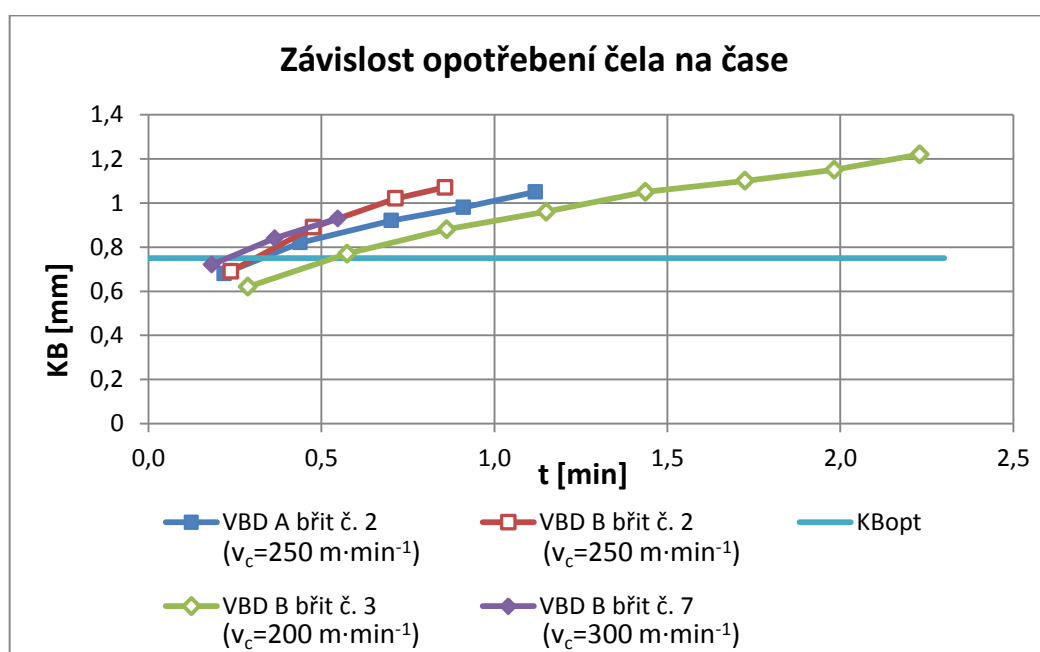
5. Vyhodnocení experimentu

Na testovaném materiálu docházelo k velmi rychlému opotřebení VBD a ve většině případů až k její úplné destrukci. Už při prvním řezu VBD A břit č. 1 došlo k úplnému zničení břitu, a proto bylo nutné pro následující břity snížit řeznou rychlost, aby bylo možné důkladněji sledovat chování VBD. Při aplikování procesní kapaliny při procesu obrábění bylo dosaženo příznivějších výsledků za použití stejných řezných podmínek. Celkem byly použity dvě VBD (A, B) a z použitých břitů pouze na jednom z nich nedošlo k lomu břitu nástroje.

Na grafické závislosti zobrazené na grafech v Obr. 5.1 a Obr. 5.2 lze vidět porovnání hodnot opotřebení pro jednotlivé VBD a jejich břity. Naměřené hodnoty byly dosaženy z fotografií, které byly vytvořeny pomocí mikroskopu a stolního počítače v programu *Motic Images Plus 2.0* v průběhu experimentu. Tímto způsobem naměřené hodnoty byly převedeny do programu *Microsoft Excel* a následně použity k sestavení grafů.



Obr. 5.1 - Porovnání hodnot opotřebení na hřbetu nástroje



Obr. 5.2 - Porovnání hodnot opotřebení na čele nástroje

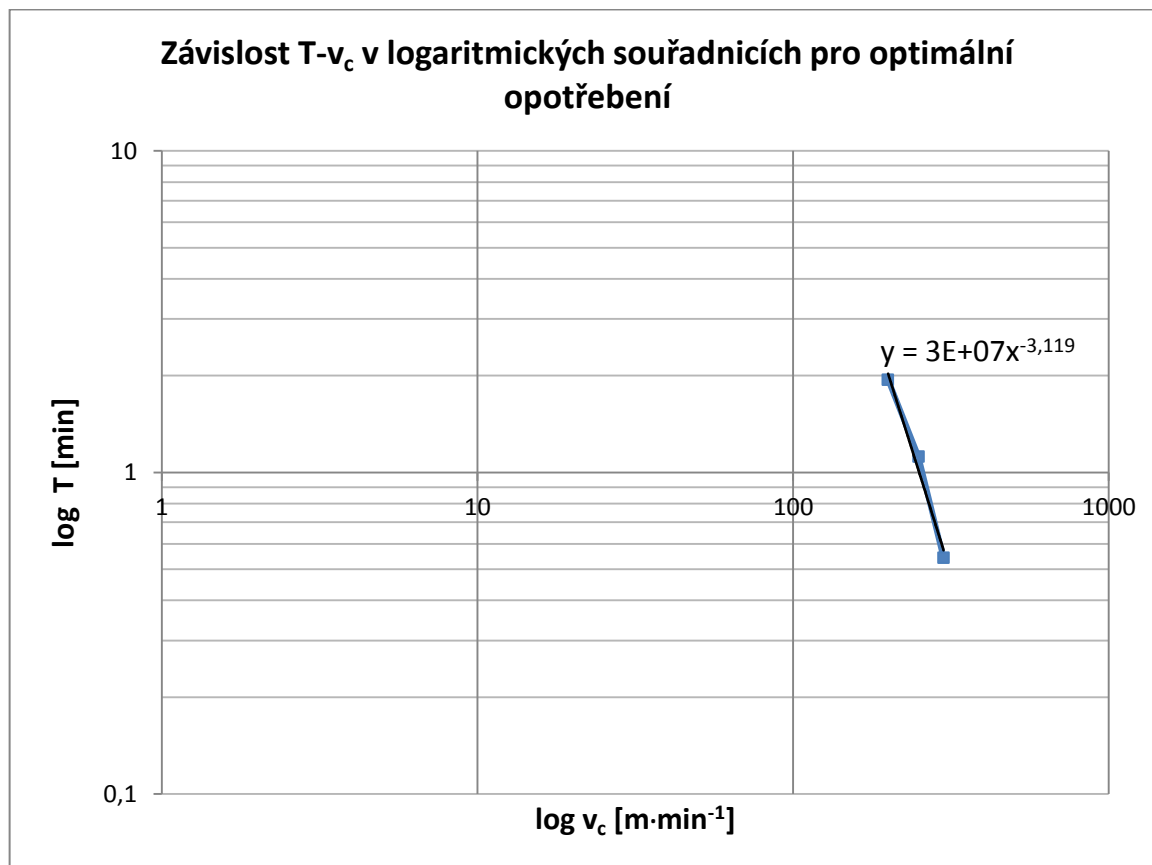
Velký žlábek na čele nástroje může být hlavní příčinou lomu břitů, tvorby nevhodně tvarovaných třísek a špatné kvality obrobené plochy. Příčinou velkého žlábků na čele nástroje může být zvolená vysoká řezná rychlost, velký posuv, špatná geometrie nástroje anebo použití nevhodného řezného materiálu pro daný obráběný materiál. I když byla v těchto měření řezná rychlost snižována, tak opotřebení ve tvaru žlábků na čele nástroje zůstalo téměř totožné. Proto lze usoudit, že kvůli velkému žlábků na čele nástroje tento řezný materiál není úplně vhodný pro obrábění tohoto typu materiálu. Pokud by nebylo možné použití jiného řezného materiálu, tak by bylo dobré dát na rady výrobců řezných materiálů, kteří poskytují veřejně své znalosti a zkušenosti v tomto směru. Částečným řešením by tedy bylo při procesu obrábění větší snížení řezné rychlosti, posuvu a aplikování procesní kapaliny.

Pro sestrojení závislosti $T-v_c$ je vhodné použít hodnoty trvanlivosti přijatelných VBD a jejich břitů o různých řezných rychlostech. Avšak kvůli předčasným lomům většinou nebylo dosaženo optimálního opotřebení. Bohužel více vhodných hodnot nebylo možné získat, kvůli kolizi stroje a nástroje. Proto kvůli malému počtu vhodných hodnot nelze vytvořit zcela vyhovující $T-v_c$ závislost. Nicméně z naměřených hodnot, které vyjadřují VBD B břit č. 7 a VBD A břit č. 2, u kterých byla použita procesní kapalina při procesu obrábění, a VBD B břit č. 3, lze vytvořit $T-v_c$ závislost. Jenže tuto závislost lze brát pouze jako orientační, neboť u VBD B břit č. 3 nebyla použita procesní kapalina při procesu obrábění. Díky grafu (Obr. 5.1) pro porovnání jednotlivých hodnot opotřebení na hřbetu nástroje byly získány hodnoty trvanlivosti (viz Tab. 5.1) a to pomocí programu *Microsoft Excel*.

Tab. 5.1 - Jednotlivé trvanlivosti

Značení VBD	Hodnota trvanlivosti T [min]
B břit č. 7	0,5425
A břit č. 2	1,1184
B břit č. 3	1,9409

Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti ($T-v_c$) v logaritmických souřadnicích pro optimální opotřebení je zobrazen na Obr. 5.3:



Obr. 5.3 - Graf závislosti $T-v_c$

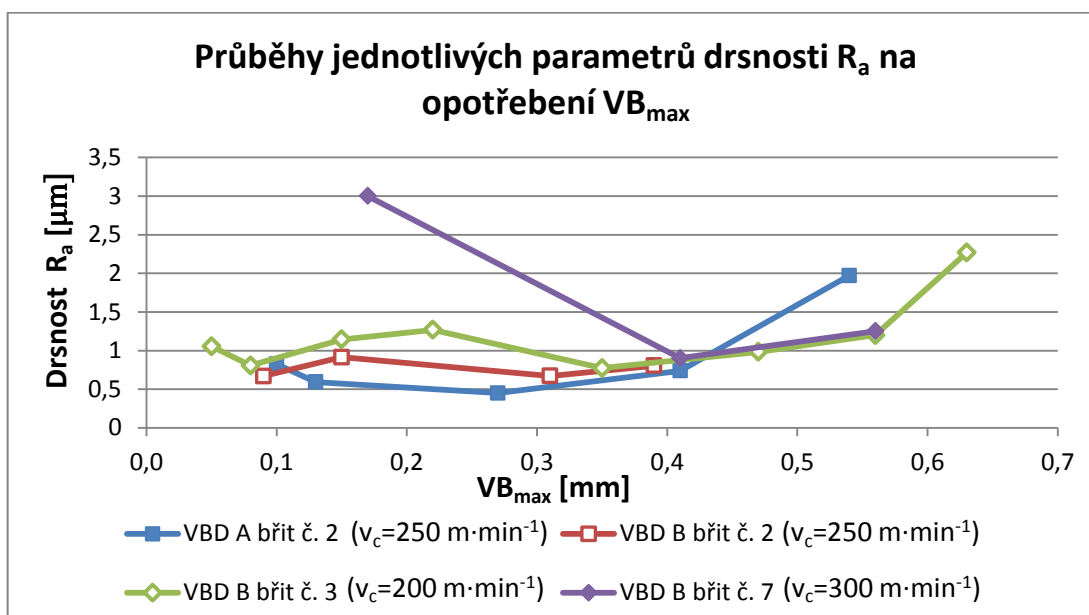
Hodnoty v grafu na Obr. 5.3 jsou zapsány na osách v logaritmických souřadnicích. Po sestrojení této křivky byla získána hodnota pro zápis obecného Taylorova vztahu:

$$T = \frac{c_t}{v_c^m}$$

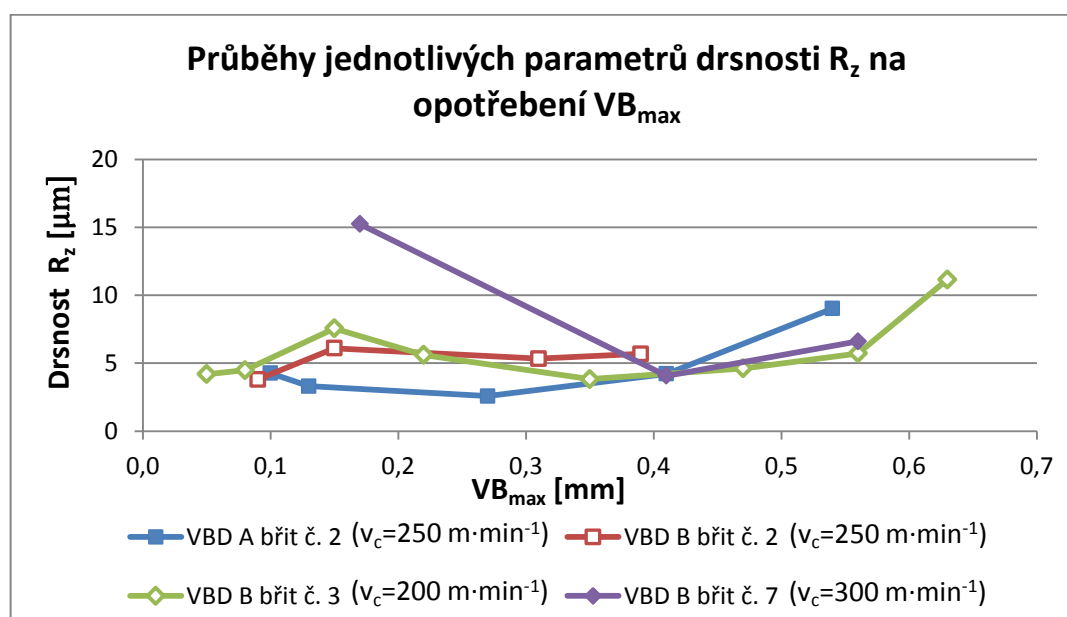
Za využití hodnot z grafu na Obr. 4.5 lze Taylorův vztah zapsat ve tvaru:

$$T = 3 \cdot 10^7 \cdot v_c^{-3,119}$$

Na grafické závislosti zobrazené na grafech v Obr. 5.4 a Obr. 5.5 lze vidět porovnání hodnot jednotlivých parametrů drsnosti R_a a R_z na opotřebení hřbetu VB_{max} .



Obr. 5.4 - Porovnání hodnot drsnosti R_a na opotřebení hřbetu VB_{max}



Obr. 5.5 - Porovnání hodnot drsnosti R_z na opotřebení hřbetu VB_{max}

Průměrné i nejnižší dosažené hodnoty drsnosti povrchu R_a popisuje Tab. 5.2. Nejlepší průměrné hodnoty R_a dosáhla VBD B břit č. 2, a to při řezné rychlosti $250 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, kdy nebyla použita procesní kapalina. Nicméně nejnižší hodnoty drsnosti povrchu R_a dosáhla VBD A břit č. 2, při řezné rychlosti $250 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, kde byla aplikována procesní kapalina

během procesu obrábění. Nejvyšších hodnot, jak průměrných tak nejnižších, dosáhla VBD B břit č. 7, u něhož byla použita procesní kapalina při procesu obrábění, a to při řezné rychlosti $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Avšak u toho břitu č. 7 k prvnímu řezu spadají vysoké hodnoty drsnosti povrchu, a jejich příčinou pravděpodobně bylo špatné uchycení VBD do držáku řezného nástroje.

Tab. 5.2 - Průměrné a nejnižší dosažené drsnosti povrchu R_a

Značení VBD	Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Aplikace procesní kapaliny	Drsnost povrchu R_a [μm]	
			Průměrná hodnota	Nejnižší hodnota
A břit č. 2	250	ano	0,915	0,449
B břit č. 2	250	ne	0,765	0,670
B břit č. 3	200	ne	1,187	0,774
B břit č. 7	300	ano	1,718	0,901

Průměrné i nejnižší dosažené hodnoty drsnosti povrchu R_z popisuje Tab. 5.3. Nejlepších hodnot R_z , jak nejnižších tak průměrných, dosáhla VBD A břit č. 2, u kterého byla aplikována procesní kapalina během procesu obrábění, a to při řezné rychlosti $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Obou nejvyšších hodnot R_z bylo dosaženo VBD B břit č. 7, a to při řezné rychlosti $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, kdy byla použita procesní kapalina.

Tab. 5.3 - Průměrné a nejnižší dosažené drsnosti povrchu R_z

Značení VBD	Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Aplikace procesní kapaliny	Drsnost povrchu R_z [μm]	
			Průměrná hodnota	Nejnižší hodnota
A břit č. 2	250	ano	4,677	2,579
B břit č. 2	250	ne	5,232	3,800
B břit č. 3	200	ne	5,897	3,824
B břit č. 7	300	ano	8,650	4,080

Podle všeobecně známé teorie by při použití vyšší řezné rychlosti mělo dojít ke zlepšení kvality obrobené plochy. Naměřené hodnoty a grafy z tohoto experimentu tento předpoklad nepotvrdily. Což mohlo být způsobeno tím, že docházelo k různým

opotřebením břitů nástroje, kdy v průběhu procesu opotřebení řezného nástroje působilo mnoho odlišných fyzikálně-chemických jevů, které zapříčinily velký žlábek na čele nástroje a změnu celé geometrie břitů.

Při větší řezné rychlosti břit dosáhl kratších strojních časů a menších celkových délek obrobění. Břit byl tedy za vyšší řezné rychlosti intenzivněji opotřebován, a to mohlo mít za následek rozdílnost hodnot drsnosti povrchu.

Dalším předpokladem bylo, že aplikování procesní kapaliny bude mít příznivější vliv na kvalitu drsnosti povrchu. Avšak z naměřených hodnot a grafů je patrné, že použitá procesní kapalina v tomto experimentu neměla značný vliv na kvalitu obroběné plochy. Nicméně měla příznivější vliv na rychlost opotřebení, což znamenalo zvětšení celkových délek obrobění, a tak i prodloužení strojních časů.

Ovšem pro potvrzení údajů z tohoto experimentu by bylo potřeba udělat více měření, které by statisticky potvrdily výše uvedené závislosti.

6. Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů. Byl proveden teoretický rozbor opotřebení řezného nástroje i řezné keramiky. Dále byla popsána analýza soustavy obrábění při experimentu, zpracování naměřených hodnot a vyhodnocení experimentu.

Inteligentním řezným nástrojem byla vyměnitelná břitová destička z řezné keramiky na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4) s nanesenou odporovou vrstvou nitridu titanu (TiN). Obráběným materiálem byla manganová ocel X120Mn12 kruhového průřezu. Kombinace této řezné keramiky a obráběného materiálu nebyla příliš vhodná, a to z důvodu značného opotřebení a velmi časté destrukce břitu, nicméně pro daný experiment nebylo možné použít jiné varianty.

Experiment probíhal v areálu VŠB-TUO na nově pořízeném vysoce výkonném a moderním CNC soustruhu MORI SEIKI NLX 2500/700. Opotřebení řezného nástroje bylo měřeno mikrometrickou metodou na dílenském mikroskopu, který umožňuje digitální záznam obrazu. Samotné měření opotřebení probíhalo na stolním počítači, a to pomocí programu *Motic Images Plus 2.0*. Kritérium optimálního opotřebení bylo stanoveno na základě vzdálenosti odporové vrstvy od břitu řezného nástroje. Byly použity dvě VBD (A, B). Všechna měření byla provedena za konstantního posuvu 0,2 mm i hloubky řezu 1,6 mm, a v dalších měření se měnila hodnota řezné rychlosti a použití procesní kapaliny. Pouze ve dvou případech byla aplikována procesní kapalina při procesu obrábění a bylo zjištěno, že má příznivější vliv na rychlost opotřebení, avšak nemá až tak značný vliv na vývoj drsnosti povrchu.

Na VBD A bylo využito dvou břitů. U obou aplikovaných břitů nastal lom. V prvním případě nastal lom během prvního řezu, a to pravděpodobně kvůli zvolené vysoké řezné rychlosti, která byla $500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, a délka obrobení dosáhla 52,6 mm. U dalšího břitu bylo provedeno šest řezů o celkové délce obrobení 310 mm při řezné rychlosti $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, a byla aplikována procesní kapalina během procesu obrábění, která má příznivý vliv na rychlost opotřebení. V pátém řezu se dosáhlo optimální hodnoty opotřebení a v šestém řezu nastal lom břitu nástroje.

U VBD B byly použity čtyři břity, přičemž u jednoho z nich byla aplikována procesní kapalina. U břitu č. 1 byly provedeny dva řezy o celkové délce 171,4 mm při řezné rychlosti $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, kde u druhého řezu nastal lom břitu nástroje. Oproti břitu č. 1 u břitu č. 7, který obráběl také při řezné rychlosti $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, kde byla použita procesní kapalina, byly provedeny čtyři řezy o celkové délce 200 mm, ale rovněž v posledním řezu došlo k lomu břitu nástroje. U břitu č. 2 bylo provedeno pět řezů o celkové délce obrobení 230 mm při řezné rychlosti $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, a u posledního řezu došlo opět k lomu břitu nástroje. Pouze u jednoho břitu nenastal lom, a to na břitu č. 3, přičemž u tohoto břitu byla zvolená řezná rychlost nejmenší ($v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$), a dosáhl tak nejdelších strojních časů i celkové délky obrobení, která činí 390 mm.

VBD B břit č. 2, u kterého byla řezná rychlost $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a nebyla aplikována procesní kapalina při procesu obrábění, dosáhl nejlepší průměrné hodnoty $R_a = 0,765 \text{ } \mu\text{m}$. Nicméně VBD A břitem č. 2, při řezné rychlosti $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, kdy byla aplikována procesní kapalina při procesu obrábění, dosáhla nejnižší hodnoty drsnosti povrchu $R_a = 0,449 \text{ } \mu\text{m}$, a také nejlepších hodnot R_z , kde průměrná hodnota je $R_z = 4,677 \text{ } \mu\text{m}$ a nejnižší hodnota činí $R_z = 2,579 \text{ } \mu\text{m}$.

Naměřené hodnoty opotřebení VBD v tomto experimentu byly směrodatné pro vypracování další bakalářské práce, která je zaměřena na elektrický odpor.

7. Seznam použité literatury

- [1] AB Sandvik Coromant - SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění - KNIHA PRO PRAKTIKY*. Přel. KUDELA, Miroslav. Praha : Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R. et al. *Technologie II*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 119 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [3] *Ceramics* [online]. Mountain Home : Kyocera Industrial Ceramics Corp., 2014 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z WWW: <http://www.kyoceramicrotools.com/indexable/pdf/ceramics_brochure.pdf>.
- [4] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, s. r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [5] HUMÁR, Anton. *SLINUTÉ KARBIDY A ŘEZNÁ KERAMIKA pro obrábění*. Brno : CCB spol. s r.o., 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
- [6] HUMÁR, Anton. *Technologie i technologie obrábění: 1. část*. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie".
- [7] IŽDINSKÁ, Z.; EMMER, Š.; GONDÁR, E. *STROJÁRSKE MATERIÁLY*. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2006. 167 s. ISBN 80-227-2488-2.
- [8] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [9] KRATOCHVÍL, Jiří. *Metodika sledování opotřebení keramických nástrojů pomocí odporových vrstev během řezu*. Ostrava, 2010. 118s. Disertační práce. VŠB-TU Ostrava. Školitel: doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.
- [10] MÁDL, Jan; KAFKA, Jindřich et al. *Technologie obrábění*. Praha : VYDAVATELSTVÍ ČVUT, 2000. 79 s. ISBN 80-01-02091-6.
- [11] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978-80-248-1053-9.
- [12] *Příručka obrábění* [online]. Šumperk : Pramet Tools, s.r.o., 2004 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z WWW: <http://www.mavslovakia.sk/pdf/pramet/prirucka_cz.pdf>.

8. Seznam příloh

Příloha č. 1 - Řezné podmínky a záznam hodnot při experimentu

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace, odborné rady a trpělivost během řešení mého úkolu. Zároveň bych rád také poděkoval VŠB-TU Ostrava za poskytnutí strojů i přístrojů, na kterých byl tento experiment uskutečněn.

Příloha č. 1

Řezné podmínky a záznam hodnot při experimentu - List č. 1/2

VBD A břit číslo 1										
č. řezu	f [mm]	n [min ⁻¹]	d [mm]	l [mm]	a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	VB _{max} [mm]	KB [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1	0,2	2090	76,0	52,6	1,6	500			0,859	4,794

VBD A břit číslo 2, při obrábění použita procesní kapalina										
č. řezu	f [mm]	n [min ⁻¹]	d [mm]	l [mm]	a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	VB _{max} [mm]	KB [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1	0,2	1140	69,6	50	1,6	250	0,10	0,68	0,824	4,258
2		1140	69,6	50			0,13	0,82	0,593	3,307
3		1140	69,6	60			0,27	0,92	0,449	2,579
4		1200	66,4	50			0,41	0,98	0,737	4,221
5		1200	66,4	50			0,54	1,05	1,971	9,021
6		1200	66,4	50					2,364	12,572

VBD B břit číslo 1										
č. řezu	f [mm]	n [min ⁻¹]	d [mm]	l [mm]	a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	VB _{max} [mm]	KB [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1	0,2	1260	76,0	123,4	1,6	300	0,48	1,01	2,090	9,556
2		1260	76,0	48					2,276	11,723

VBD B břit číslo 2										
č. řezu	f [mm]	n [min ⁻¹]	d [mm]	l [mm]	a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	VB _{max} [mm]	KB [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1	0,2	1050	76,0	50	1,6	250	0,09	0,69	0,670	3,800
2		1050	76,0	50			0,15	0,89	0,914	6,103
3		1050	76,0	50			0,31	1,02	0,671	5,339
4		1050	76,0	30			0,39	1,07	0,805	5,685
5		1090	72,8	50					1,853	13,603

Příloha č. 1**Řezné podmínky a záznam hodnot při experimentu - List č. 2/2**

VBD B břit číslo 3										
č. řezu	f [mm]	n [min ⁻¹]	d [mm]	l [mm]	a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	VB _{max} [mm]	KB [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1	0,2	870	72,8	50	1,6	200	0,05	0,62	1,054	4,194
2		870	72,8	50			0,08	0,77	0,807	4,487
3		870	72,8	50			0,15	0,88	1,145	7,562
4		870	72,8	50			0,22	0,96	1,268	5,607
5		870	72,8	50			0,35	1,05	0,774	3,824
6		870	72,8	50			0,47	1,10	0,983	4,620
7		870	72,8	45			0,56	1,15	1,201	5,723
8		910	69,6	45			0,63	1,22	2,267	11,161

VBD B břit číslo 7, při obrábění použita procesní kapalina										
č. řezu	f [mm]	n [min ⁻¹]	d [mm]	l [mm]	a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	VB _{max} [mm]	KB [mm]	R _a [μm]	R _z [μm]
1	0,2	1370	69,6	50	1,6	300	0,17	0,72	3,002	15,256
2		1370	69,6	50			0,41	0,84	0,901	4,080
3		1370	69,6	50			0,56	0,93	1,252	6,614
4		1370	69,6	50					2,064	11,057